



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## ROZSAHY HLAVNÍCH PARAMETRŮ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

POWER SYSTEMS RANGES OF MAIN PARAMETERS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Řehořek

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Paar, Ph.D.

BRNO 2020

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Tomáš Řehořek **ID:** 203333 **Ročník:** 3 **Akademický rok:** 2019/20

**NÁZEV TÉMATU:**

## Rozsahy hlavních parametrů elektrizační soustavy

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Elektrizační soustava – její struktura a působnost
2. Hlavní parametry vybraných komponentů elektrických sítí
3. Odhad spotřeby na základě použitých komponent
4. Vytvoření infografiky pro vybrané parametry elektrizační soustavy

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 10.6.2020

**Vedoucí práce:** Ing. Martin Paar, Ph.D.

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

Bibliografická citace práce:

ŘEHOŘEK, Tomáš. *Rozsahy hlavních parametrů elektrizační soustavy* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-01-04]. <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/122421>. Semestrální práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Martin Paar.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Rozsahy hlavních parametrů elektrizační soustavy jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 10.6. 2020

.....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Paarovi Ph.D. za metodické vedení, konzultace a věcné připomínky při zpracování práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti E.ON Distribuce, a.s. za poskytnutí potřebných podkladů pro vypracování praktické části práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Vaculíkovi za možnost spolupráce s firmou E.ON Distribuce, a.s. Také bych chtěl poděkovat Ing. Kolaciovi z E.ON Distribuce, a.s. za poskytnutí potřebných informací. Dále bych chtěl poděkovat společnosti ČEZ Distribuce, a. s. a společnosti PREdistribuce, a. s. za připomínky k infografikám.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá popisem elektrizační soustavy a rozsahy výkonů, spotřeby a parametrů prvků elektrizační soustavy. V první části je popsána struktura elektrizační soustavy, a základní dělení elektrických sítí. Práce se v této části dotýká i elektrické trakce a způsobů jejího napájení. Dále jsou také uvedeny hodnoty výroby a spotřeby elektrické energie. V druhé části se práce zaměřuje na popis vybraných prvků elektrizační soustavy a jejich reálné parametry. Dále se práce dotýká bateriových úložišť a elektromobility. V poslední části jsou uvedeny jednoduché metody odhadu spotřeby. Přílohou této práce jsou dvě infografiky, popisující elektrizační soustavu, které vycházejí z informací uvedených v rámci textové části této práce.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Bateriové úložiště; elektrická trakce; elektrické vedení; elektrizační soustava; elektromobilita; odhad spotřeby; parametry komponentů; spotřeba elektrické energie; transformátorová koncepce

## **ABSTRACT**

The thesis deals with description of the power system, parameters of its components and the range of outputs and consumption. In the first part the structure of the power system is described as well as the fundamental division of electric grids. In this part the work also touches on the ways of supplying the electric traction. Furthermore the amount of production and consumption is mentioned. In the second part this work focuses on description of selected components of the power system and their real parameters. Furthermore the work also touches on the matter of electromobility and battery energy storage systems. In the last part of this work a few simple methods of consumption estimation are presented. This work also includes two infographics, that describe the power system.

### **KEY WORDS:**

Battery energy storage systems; component parameters; consumption estimation; electric traction; electricity consumption; electromobility; power lines; power system; transformer concept

## OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>8</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>12</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>14</b>
<b>2 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 STRUKTURA ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 PŘENOSOVÁ SOUSTAVA .....	15
2.1.2 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA.....	17
2.1.3 ELEKTRICKÁ TRAKCE .....	18
<b>2.2 ROZDĚLNÍ SÍTÍ Z HLEDISKA SPOJENÍ UZLŮ TRANSFORMÁTORŮ .....</b>	<b>21</b>
2.2.1 SÍTĚ IZOLOVANÉ .....	21
2.2.2 SÍTĚ NEÚČINNĚ UZEMNĚNÉ.....	21
2.2.3 SÍTĚ ÚČINNĚ UZEMNĚNÉ .....	21
<b>2.3 ROZDĚLENÍ SÍTÍ Z HLEDISKA USPOŘÁDÁNÍ.....</b>	<b>22</b>
2.3.1 PAPRSKOVÝ ROZVOD .....	22
2.3.2 PRŮBĚŽNÝ ROZVOD .....	22
2.3.3 OKRUŽNÍ ROZVOD.....	23
2.3.4 ZJEDNODUŠENÝ MŘÍŽOVÝ ROZVOD.....	23
2.3.5 MŘÍŽOVÝ ROZVOD .....	24
<b>2.4 VÝROBA A SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE .....</b>	<b>24</b>
2.4.1 VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE V ČR.....	24
2.4.2 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE V ČR .....	25
2.4.3 POROVNÁNÍ SPOTŘEBY VYBRANÝCH OBLASTÍ .....	26
<b>3 HLAVNÍ PARAMETRY VYBRANÝCH KOMPONENTŮ ELEKTRICKÝCH SÍTÍ.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 VEDENÍ.....</b>	<b>27</b>
3.1.1 VENKOVNÍ VEDENÍ VVN .....	27
3.1.2 VENKOVNÍ VEDENÍ VN .....	28
3.1.3 VENKOVNÍ VEDENÍ NN .....	29
3.1.4 KABELOVÁ VEDENÍ.....	30
<b>3.2 OPTICKÁ INFRASTRUKTURA .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 PODPĚRNÉ BODY VENKOVNÍCH VEDENÍ .....</b>	<b>33</b>
3.3.1 BETONOVÉ SLOUPY.....	33
3.3.2 DŘEVĚNÉ SLOUPY .....	33
3.3.3 OCELOVÉ PLECHOVÉ SLOUPY .....	33
3.3.4 OCELOVÉ PŘÍHRADOVÉ STOŽÁRY .....	33
3.3.5 SKLOLAMINÁTOVÉ SLOUPY .....	34
<b>3.4 TRANSFORMÁTORY.....</b>	<b>34</b>
3.4.1 TRANSFORMÁTORY ZVN/VVN A VVN/VVN .....	34
3.4.2 TRANSFORMÁTORY VVN/VN .....	35
3.4.3 TRANSFORMÁTORY VN/NN .....	36

3.4.4 BLOKOVÉ TRANSFORMÁTORY .....	38
<b>3.5 GENERÁTORY .....</b>	<b>38</b>
3.5.1 GENERÁTORY TEPELNÝCH A JADERNÝCH ELEKTRÁREN .....	38
3.5.2 GENERÁTORY VODNÍCH ELEKTRÁREN .....	39
3.5.3 GENERÁTORY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN .....	39
<b>3.6 VÝKONOVÉ VYPÍNAČE .....</b>	<b>40</b>
3.6.1 VYPÍNAČE S SF <sub>6</sub> .....	40
3.6.2 VAKUOVÉ VYPÍNAČE .....	41
3.6.3 VYPÍNAČE S CO <sub>2</sub> .....	42
<b>4 BATERIOVÉ SYSTÉMY.....</b>	<b>44</b>
4.1 VYUŽITÍ SÍŤOVÝCH BATERIOVÝCH SYSTÉMŮ .....	44
4.2 DOMÁCÍ BATERIOVÉ SYSTÉMY .....	45
<b>5 ELEKTROMOBILITA .....</b>	<b>47</b>
5.1 OSOBNÍ ELEKTROMOBILY .....	47
5.2 NÁKLADNÍ AUTOMOBILY .....	48
5.3 HYBRIDNÍ VLAKY .....	49
5.4 ELEKTROBUSY.....	49
5.5 TROLEJBUS S BATERIOVÝM SYSTÉMEM.....	50
5.6 ELEKTROMOTOCYKLY .....	50
5.7 MIKROELEKTROMOBILITA .....	51
5.8 POROVNÁNÍ VÝKONŮ DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ .....	51
<b>6 ODHAD SPOTŘEBY .....</b>	<b>54</b>
6.1 ODHAD SPOTŘEBY VYCHÁZEJÍCÍ ZE SPOTŘEBY NA OBYVATELE, PRVNÍ METODA .....	54
6.2 ODHAD SPOTŘEBY VYCHÁZEJÍCÍ ZE SPOTŘEBY NA OBYVATELE, DRUHÁ METODA .....	56
6.3 ODHAD SPOTŘEBY NA ZÁKLADĚ POUŽITÝCH KOMPONENT .....	58
6.3.1 ODHAD SPOTŘEBY VYCHÁZEJÍCÍ Z POČTU TRANSFORMÁTORŮ .....	58
6.3.2 ODHAD SPOTŘEBY VYCHÁZEJÍCÍ Z CELKOVÉHO VÝKONU TRANSFORMÁTORŮ.....	60
6.3.3 ODHAD SPOTŘEBY VYCHÁZEJÍCÍ Z DRUHU NAPÁJECÍCH VODIČŮ .....	62
6.4 POROVNÁNÍ METOD ODHADU .....	63
<b>7 INFOGRAFIKY .....</b>	<b>66</b>
<b>8 ZÁVĚR.....</b>	<b>67</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>70</b>
<b>ZDROJE DAT .....</b>	<b>76</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Schéma sítí 400 kV a 220 kV [90]</i> .....	16
<i>Obr. 2-2 Rozdělení územní působnosti distribučních společností [78]</i> .....	17
<i>Obr. 2-3 Způsob napájení trakčního systému AC 25 kV</i> .....	18
<i>Obr. 2-4 Způsob napájení trakčního systému DC 3 kV</i> .....	19
<i>Obr. 2-5 Schéma trakční sítě se zaznačenými systémy napájecích soustav [20]</i> .....	19
<i>Obr. 2-6 Trakční transformovna s paralelním balancérem</i> .....	20
<i>Obr. 2-7 Plně průchozí napájecí stanice s kaskádou dvou měničů</i> .....	20
<i>Obr. 2-8 Průběžná síť [13]</i> .....	22
<i>Obr. 2-9 Průběžný rozvod [13]</i> .....	22
<i>Obr. 2-10 Okružní rozvod [13]</i> .....	23
<i>Obr. 2-11 Zjednodušený mřížový rozvod [10]</i> .....	23
<i>Obr. 2-12 Mřížový rozvod [13]</i> .....	24
<i>Obr. 2-13 Podíl jednotlivých technologií na výrobě</i> .....	24
<i>Obr. 2-14 Instalovaný výkon elektráren v ČR</i> .....	25
<i>Obr. 2-15 Spotřeba elektřiny podle kategorií spotřeb</i> .....	25
<i>Obr. 2-16 Porovnání spotřeby vybraných států [15]</i> .....	26
<i>Obr. 3-1 Podíl kabelového vedení na přenosu elektrické energie v zemích EU [1]</i> .....	31
<i>Obr. 3-2 Síťové transformátory 400/220 kV [5]</i> .....	35
<i>Obr. 3-3 Síťové transformátory 400/110 kV [5]</i> .....	35
<i>Obr. 3-5 Síťové transformátory 110/22 kV[5]</i> .....	35
<i>Obr. 3-4 Transformátory velkoodběratelů a výroben elektrické energie[5]</i> .....	35
<i>Obr. 3-6 Transformátory VN/NN[5]</i> .....	36
<i>Obr. 3-7 Zapojení blokových transformátorů</i> .....	38
<i>Obr. 5-1 Porovnání výkonů elektrických vozidel hromadné dopravy, včetně bateriových dopravních prostředků</i> .....	51
<i>Obr. 5-2 Porovnání výkonů vozidel využívající jako zdroj energie baterie</i> .....	52
<i>Obr. 5-3 Porovnání kapacit baterií vozidel využívající baterie jako zdroj energie</i> .....	53
<i>Obr. 6-1 Porovnání odhadu první metodou s reálnými hodnotami</i> .....	55
<i>Obr. 6-2 Porovnání odhadu druhou metodou s reálnými hodnotami</i> .....	57
<i>Obr. 6-3 Porovnání reálné hodnoty s hodnotami odhadu</i> .....	60
<i>Obr. 6-4 Porovnání reálných hodnot s hodnotami odhadu</i> .....	62
<i>Obr. 6-5 Rozptyl hodnot odchylek odhadů</i> .....	63

---

<i>Obr. 6-6 Grafické zobrazení odchylek pro všechny metody odhadu.....</i>	<i>64</i>
--	-----------

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Délky vedení a počet rozveden v PS [89] .....</i>	<i>16</i>
<i>Tab. 2-2 Podíly distributorů na přenesené energii[12][74][75] .....</i>	<i>17</i>
<i>Tab. 2-3 Délky vedení jednotlivých distributorů [12][74][75].....</i>	<i>18</i>
<i>Tab. 3-1 Parametry vodičů ACSR (AlFe) venkovního vedení 110kV [53].....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 3-2 Příklady parametrů AlFe lan [52].....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 3-3 Příklad parametrů jednoduchých izolovaných kabelů [64] .....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 3-4 Příklad parametrů lan AlFe 6 pro NN vedení[52] .....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3-5 Parametry kabelu AXEKVCEY [82].....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 3-6 Příklad parametrů kabelů AYKY[52] .....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 3-7 Parametry transformátorů 110/22 kV [53] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 3-8 Parametry transformátorů 22/0,4 kV ABB RESIBLOC [53].....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 3-9 Parametry transformátorů 22/0,4 kV SIEMENS TUNORMA [53] .....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 3-10 Parametry generátoru v JE Dukovany[31] .....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 3-11 Parametry generátoru v JE Temelín[32].....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 3-12 Parametry generátoru v elektrárně Dlouhé stráně [59] .....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 3-13 Parametry generátoru větrné elektrárny ENERCON E-82 [61].....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 3-14 Parametry generátoru větrné elektrárny SIMENS SWT-2.3-93 [70].....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 3-15 Parametry vypínače VN s SF<sub>6</sub>, ABB HD4 24 [29] .....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 3-16 Parametry vypínače VVN s SF<sub>6</sub>, SIMENS 3AP1 FI [30].....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 3-17 Parametry vakuového vypínače VN, ABB VD4 24[91] .....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 3-18 Parametry vakuového vypínače VVN, SIMENS 3AV1 FG [54] .....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 3-19 Parametry vypínače s CO<sub>2</sub>, LTB 72,5D1 AirPlus [41].....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 3-20 Parametry vypínače s CO<sub>2</sub>, LTB 145D1 AirPlus [41].....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 4-1 Provozované bateriové systémy ve světě [27] .....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 4-2 Plánované bateriové úložiště ve světě [27] .....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 4-3 Provozovaná bateriová úložiště v ČR[24][8][48][3] .....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 4-4 Parametry domácích bateriových systémů [57][99][46][40].....</i>	<i>46</i>
<i>Tab. 5-1 Parametry vybraných osobních elektromobilů.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 5-2 Parametry plánovaných elektromobilů [14].....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 5-3 Porovnání elektrických nákladních automobilů[16][44][23][78].....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 5-4 Porovnání vybraných elektrobusů [21] [22][72][96].....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 5-5 Parametry vybraných elektro motocyklů [42][7][102][25][95].....</i>	<i>50</i>

---

<i>Tab. 5-6 Parametry vybraných dopravních prostředků [51][56][37] .....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 6-1 Odhad spotřeby vycházející ze spotřeby na obyvatele, první metoda .....</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 6-2 Odhad spotřeby vycházející ze spotřeby na obyvatele, druhá metoda .....</i>	<i>56</i>
<i>Tab. 6-3 Odhad spotřeby vycházející z počtu transformátorů .....</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 6-4 Odhad spotřeby vycházející z výkonu transformátorů.....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 6-5 Porovnání metod odhadu.....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 6-6 Odhady pomocí metod vycházejících z TR při uvažování TR v soukromém vlastnictví a TR ve vlastnictví společnosti E.ON .....</i>	<i>65</i>

**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK**

AAAC	All aluminium alloy conductor
AAC	All aluminium conductor
ACAR	Aluminium conductor alloy reinforced
ACCR	Aluminium conductor composite reinforced
ACFR	Aluminium conductor fiber reinforced
ACIR	Aluminium conductor Invar reinforced
ACSR	Aluminium conductor steel reinforced
BSEE	Battery energy storage system
DS	Distribuční soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
FVE	Fotovoltaické elektrárny
HDPE	High density polyethylene
JE	Jaderné elektrárny
KZL	Kombinované zemní lano
LV	Low voltage
MOO	Maloodběr elektřiny obyvatelstvo
MOP	Maloodběr elektřiny podnikatelé
MV	Medium voltage
NN	Nízké napětí
PE	Parní elektrárny
PPE	Paroplynové elektrárny
PSE	Plynové a spalovací elektrárny
PS	Přenosová soustava
PVE	Přečerpávací vodní elektrárny
SDOK	Samonosný dielektrický optický kabel
TAI	Teplotně odolný hliník
TR	Transformátor
VE	Vodní elektrárny
VN	Vysoké napětí
VO	Velkoodběr elektřiny
VRB	Vanidová redoxní baterie
VTE	Větrné elektrárny

---

VVN	Velmi vysoké napětí
ZTAI	Zvláště teplotně odolný hliník
ZVN	Zvláště vysoké napětí
$B$	Susceptance na jednotku délky
$C$	Kapacita na jednotku délky
$\cos\varphi$	Účinník
$E_{\text{celková}}$	Celková spotřebovaná elektrická energie v ČR
$e_k$	Procentní napětí nakrátko
$E_{\text{max}}$	Maximální roční spotřeba elektrické energie
$E_{\text{obyvatel}}$	Spotřeba elektrické energie na obyvatele
$E_{\text{odhad}}$	Odhadovaná spotřeba elektrické energie
$E_{\text{MOO}}$	Spotřeba elektrické energie spadající do kategorie spotřeby MOO
$E_{\text{MOP}}$	Spotřeba elektrické energie spadající do kategorie spotřeby MOP
$E_{\text{real}}$	Reálná spotřeba elektrické energie
$i_0$	Poměrný proud nakrátko
$I_d$	Dovolený proud
$P_{\text{celkem}}$	Celkový činný výkon
$\Delta P_0$	Ztráty naprázdno
$\Delta P_k$	Ztráty nakrátko
$R$	Rezistance na jednotku délky
$S_{\text{celkem}}$	Celkový zdánlivý výkon
$S_{\text{max}}$	Maximální zdánlivý výkon
$S_n$	Jmenovitý zdánlivý výkon
$X$	Reaktance na jednotku délky

# 1 ÚVOD

Studenti studující energetiku se během svého studia dozvídají mnohé informace o elektrických sítích jako takových. Dozvídají se například o způsobu provozu sítí z hlediska jejich uzemnění, o uspořádání sítí a mnoho dalších. Dále se také dozvídají o různých komponentech sítě jako například transformátory, generátory, vodiče atd. Pro studenta však může být problém si všechny, během studia získané, informace dát dohromady a utvořit si tak ucelený pohled na elektrizační soustavu jako takovou.

A právě toto je smyslem a cílem této práce. Poskytnout studentům pomůcku, která by jim přehledně poskytovala pohled na elektrizační soustavu a dala jim základní rámcovou představu o parametrech vybraných komponentů sítě, jako jsou například výkony transformátorů, používané vodiče, jejich průřezy atd. Tento účel bude plnit hlavně infografika, vytvořená v rámci této práce.

Infografika bude vycházet z informací uvedených v této textové části, kde nejdříve bude poukázáno strukturu a působnost elektrizační soustavy a budou zde také uvedeny informace o hodnotách spotřeby a výroby elektrické energie v ČR. Dále budou uvedeny běžné parametry vybraných komponentů na jednotlivých úrovních elektrizační soustavy.

Protože do budoucna bude s největší pravděpodobností docházet k čím dál většímu rozvoji elektromobility jsou v této práci uvedeny některé typy dopravních prostředků jak hromadné, tak osobní přepravy, s elektrickým pohonem. Pro zmíněné dopravní prostředky jsou uvedeny hodnoty jejich výkonů, případně hodnoty kapacit jejich baterií a z podle těchto parametrů jsou poté tyto dopravní prostředky porovnány.

Práce se také pouze okrajově dotýká bateriových úložišť, neboť do budoucna je rovněž možné počítat s jejich rozvojem. Práce nezmiňuje samotné principy ukládání elektrické energie, pouze zmiňuje způsoby využití síťových a domácích baterií v praxi a pro vybraná bateriová úložiště zmiňuje jejich výkony a kapacity.

Dalším problémem, který mohou studenti mít je, že si neumí ani rámcově představit kolik energie může obec či město během roku spotřebovat. Z tohoto důvodu budou v práci představeny jednoduché metody odhadu spotřeby. Účelem těchto metod je sloužit jako pomůcka pro studenty studující elektroenergetiku, která jim poskytne rámcovou představu o množství spotřebované energie vybranou oblastí. Celkově je v práci uvedeno pět metod odhadu, které se dají rozdělit na dvě skupiny. První skupina zahrnuje odhad vycházející ze statistických údajů, pro tuto metodu jsou v práci uvedeny dvě varianty. Druhá skupina zahrnuje odhady vycházející z komponent použitých v soustavě, tyto odhady jsou v práci tři. První dvě metody, spadající do druhé skupiny, vychází z informací o transformátorech, třetí metoda pak vychází z parametrů napájecích vodičů. Jednotlivé metody se od sebe liší náročností z hlediska dostupnosti vstupních informací a svojí přesností. V rámci práce je provedeno porovnání metod odhadu z hlediska jejich přesnosti.

## 2 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA

Elektrizační soustava je soubor vzájemně propojených zařízení sloužících k výrobě, transformaci, přenosu a distribuci elektrické energie. Do elektrizační soustavy také patří systémy ochranné, měřicí, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky.[84]

### 2.1 Struktura elektrizační soustavy

Elektrizační soustava se dá obecně rozdělit na přenosovou soustavu a distribuční soustavu. Do přenosové soustavy spadají napětové hladiny 400 kV, 220 kV a některé sítě o napětové hladině 110 kV. Provozovatelem přenosové soustavy na území české republiky je firma ČEPS, a.s. Distribuční soustava zahrnuje napětové hladiny 110 kV a nižší. V České republice je distribuční soustava provozována hlavně třemi distribučními společnostmi: ČEZ Distribuce a.s., E-ON Distribuce a.s. a PREdistribuce a.s. Malá část distribuční sítě je pak provozována lokálními distributory, jako např. LDS Sever, spol. s r.o.[6]

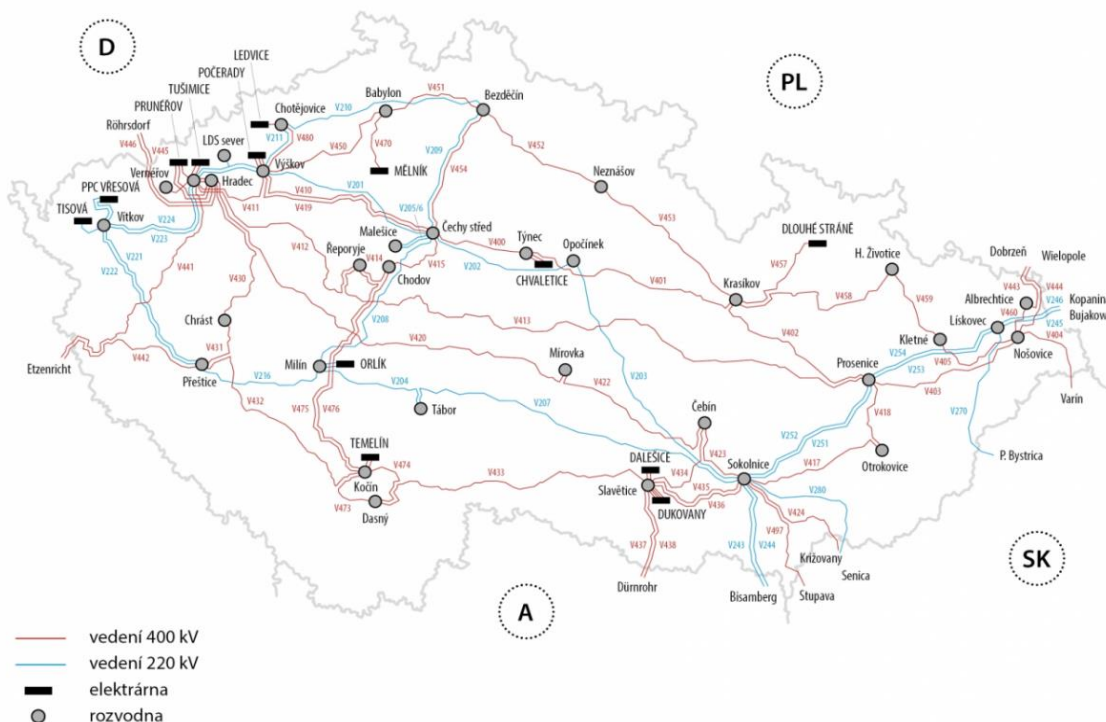
#### 2.1.1 Přenosová soustava

Přenosová soustava tvoří základ elektrizační soustavy, který propojuje všechny její významné subjekty. Zahrnuje napětové hladiny 400 kV, 220 kV a některé vybrané vedení 110 kV. Do přenosové soustavy jsou vyvedeny elektrárny velkých výkonů, tzv. systémové elektrárny. Přenosová soustava také zajišťuje propojení elektrizační soustavy České republiky se soustavami okolních států.[84]

Provozovatelem přenosové soustavy na území České republiky je firma ČEPS, a.s. ČEPS odpovídá za její bezpečný a spolehlivý provoz a za její obnovu a rozvoj. Hlavní úlohou ČEPSu je poskytovat přenosové služby uživatelům a zajišťovat systémové služby podmiňující bezpečný a spolehlivý provoz elektrizační soustavy. Mezi systémové služby se řadí udržování kvality elektřiny, udržování výkonové rovnováhy v reálném čase, obnovení provozu a dispečerské řízení.[34]



## Schéma sítí 400 kV a 220 kV



Obr. 2-1 Schéma sítí 400 kV a 220 kV [94]

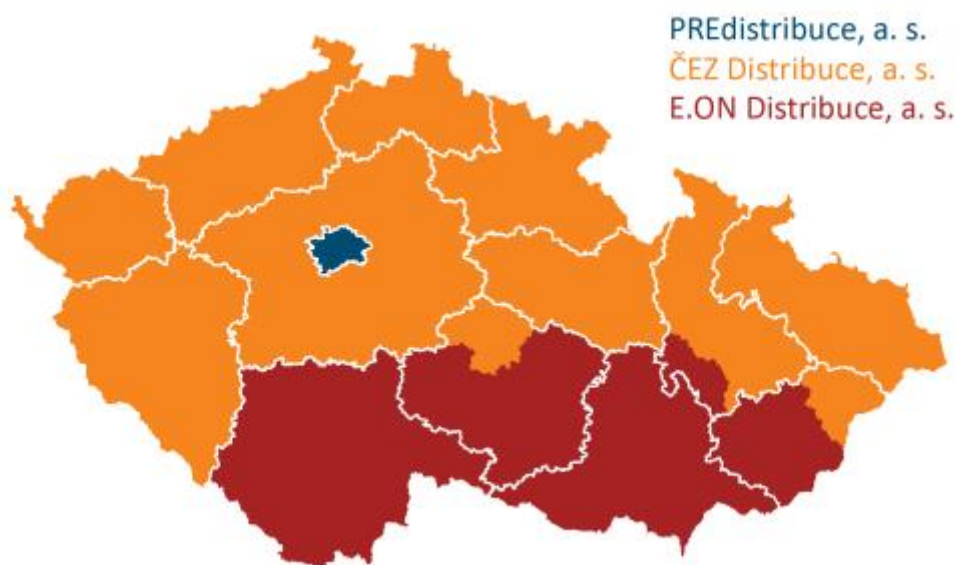
Přenesená elektrická energie v rámci přenosové soustavy, v roce 2018, na výstupu činila 65 825 GWh. V rámci přenosové soustavy vlastní ČEPS 74 transformátorů z toho čtyři transformátory 400/220 kV, padesát transformátorů 400/110 kV a dvacet transformátorů 220/110 kV. Celkový transformační výkon těchto transformátorů je 22 700 MVA. ČEPS dále také vlastní čtyři transformátory s řízeným posuvem fáze o transformačním výkonu 3 400 VA. Délky vedení a počet rozveden na jednotlivých napěťových hladinách jsou uvedeny v Tab. 2-1.[94][105]

Tab. 2-1 Délky vedení a počet rozveden v PS [94]

Napěťová hladina	Délka tras vedení	Délka vedení	Počet rozveden
(kV)	(km)	(km)	(ks)
400	3103	3735	28
220	1349	1909	14
110	45	84	1

### 2.1.2 Distribuční soustava

Distribuční soustava navazuje na přenosovou soustavu a slouží k přenosu elektrické energie ke koncovým odběratelům. Soustava je tvořena sítěmi velmi vysokého napětí 110 kV, vysokého napětí 35 kV, 22 kV, 10 kV, 6 kV, 3 kV a sítěmi nízkého napětí 0,4 kV. Z vyšších napěťových hladin jsou zásobováni velkoodběratelé, maloodběratelé jsou pak zásobováni ze sítě nízkého napětí 0,4 kV. Do distribuční soustavy jsou také vyvedeny zdroje s menšími instalovanými výkony. Distribuční soustava je územně rozdělena mezi tři distribuční společnosti. Distribuční síť v jižní části České republiky je provozována společností E-ON Distribuce, a.s. Na území Prahy provozuje distribuční síť společnost PREdistribuce, a.s. V ostatních částech České republiky pak provozuje distribuční síť společnost ČEZ Distribuce, a.s. [84]



Obr. 2-2 Rozdělení územní působnosti distribučních společností [82]

Za rok 2018 bylo přeneseno distribuční soustavou celkově 55 809 GWh elektrické energie do 6 011 632 odběrných míst. Podíly jednotlivých distributorů na přenesené energii, na konkrétních napěťových hladinách, jsou uvedeny v Tab. 2-2. Délky vedení jednotlivých distributorů jsou pak uvedeny v Tab. 2-3.[12][79][80]

Tab. 2-2 Podíly distributorů na přenesené energii[12][79][80]

Distribuční společnost	ČEZ			E-ON			PRE		
	NN	VN	VVN	NN	VN	VVN	NN	VN	VVN
Přenesená energie (GWh)	14 383	14 992	6 606	6 111	6 275	1 391	2 620	3 329	102
Počet odběratelů	3 659 047	14 754	107	1 527 650	7 861	49	800 120	2 041	3

Tab. 2-3 Délky vedení jednotlivých distributorů [12][79][80]

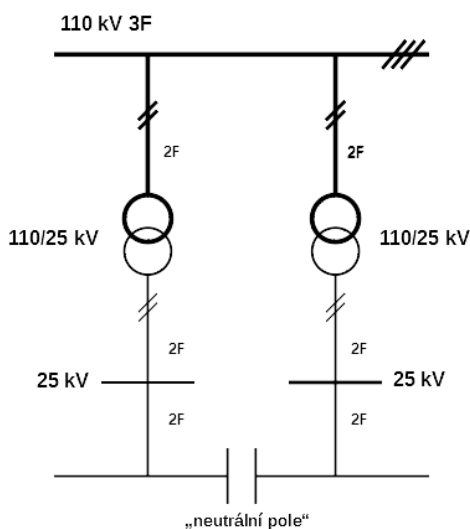
Distribuční společnost	ČEZ		E-ON		PRE	
	venkovní	kabelové	venkovní	kabelové	venkovní	kabelové
Délka vedení VVN v km	9 918	27	4 039	14	145	76
Délka vedení VN v km	40 190	10 691	18 506	3 793	92	3 788
Délka vedení NN v km	46 916	57 391	15 457	23 799	79	8 095

### 2.1.3 Elektrická trakce

Jako další specifickou podskupinu elektrizační soustavy můžeme zařadit elektrickou trakci. Trakční vedení slouží k rozvodu elektrické energie pro napájení vozidel trakce. Obecně můžeme rozdělit elektrickou trakci na železniční dopravu a městské dráhy (např. tramvaje, metro).

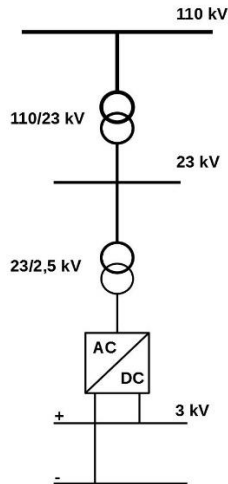
#### 2.1.3.1 Železnice

Železniční trakce v ČR spadá pod správu železnic (SŽ), pro její napájení jsou v ČR používány čtyři různé soustavy. První soustava, která bude zmíněna je střídavá soustava o napětí 25 kV a kmitočtu 50 Hz. Tato soustava tvoří v ČR přibližně 42 % elektrifikovaných tratí a pokrývá jižní část ČR. [11] Soustava je provozována jako paprsková síť. Zpravidla je napájení provedeno tak, že v transformovně jsou dva transformátory, obvykle provozovány v zapojení do V. Jeden z transformátorů je svým primárním vinutím připojen na dvě fáze DS, z jeho sekundárního vinutí se potom napájí úsek od napájecí stanice až na začátek trati. Druhý transformátor je svým primárním vinutím připojen na jiné dvě fáze DS, sekundární vinutí pak napájí úsek od napájecí stanice do konce tratě. Trakční vedení je tak napájeno nespojitě. V místě, kde dochází ke střídání fází je vloženo tzv. neutrální pole, to je část trati, kde vlaky projíždějí bez odběru proudu, tak aby nebyl způsoben mezifázový zkrat.[42]



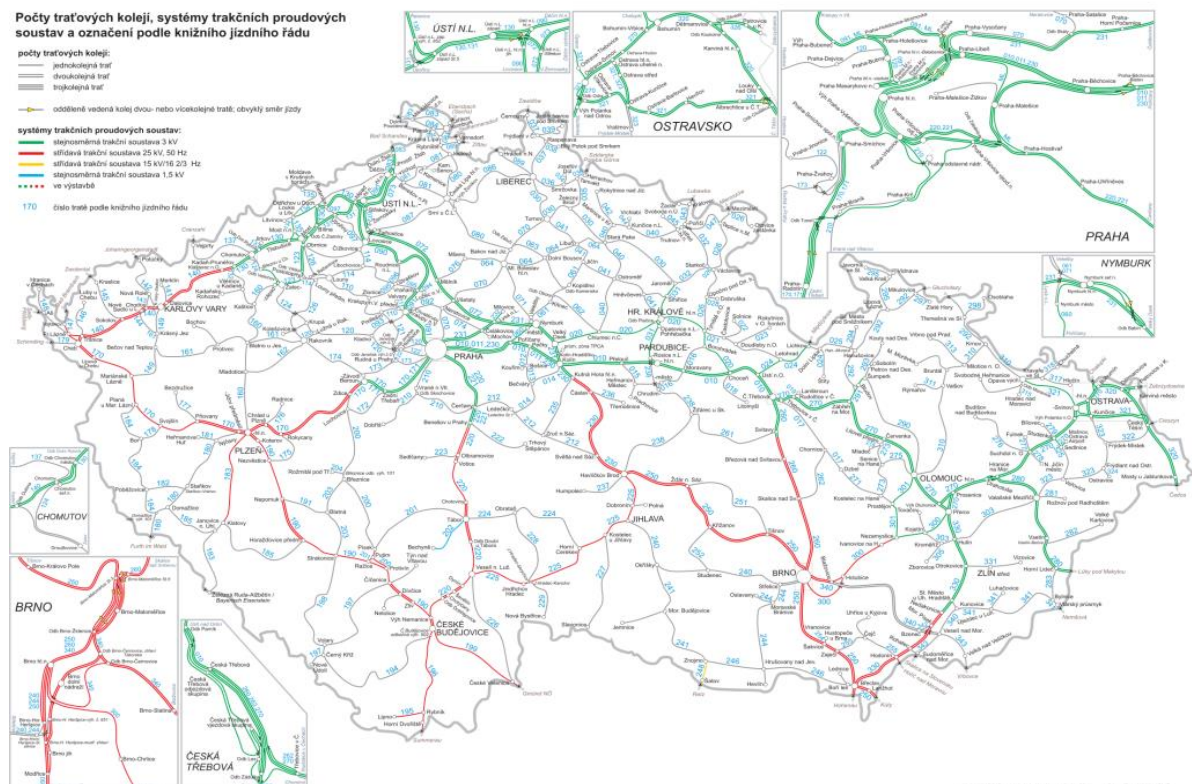
Obr. 2-3 Způsob napájení trakčního systému AC 25 kV

Dalším napájecím systémem využívající střídavého napětí je systém o napětí 15 kV a 16,7 Hz. Tato soustava má vlastní jednofázové vedení VN, nezávislé na tří fázové rozvodné síti. V ČR je takto napájena pouze jedna trať, a to konkrétně trať Znojmo - Šatov - (Retz). Trať je napájena z Rakouska. [42]



Obr. 2-4 Způsob napájení trakčního systému DC 3 kV

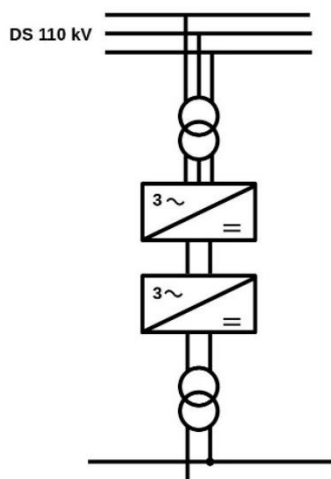
Kromě střídavých napájecích systému jsou v ČR také systémy využívající stejnosměrné napětí. Z těchto je nejvíce rozšířen systém o napětí 3 kV, který pokrývá severní část ČR. Jednotlivé úseky jsou v tomto případě napájeny ze dvou stran, což zajišťuje lepší poměrné rozložení zátěže na napáječe a vyšší spolehlivost dodávky energie. Kromě systému napětí 3 kV je v ČR také provozován stejnosměrný systém o napětí 1,5 kV. Tato soustava je provozována pouze na trati Tábor-Bechyně.[11]



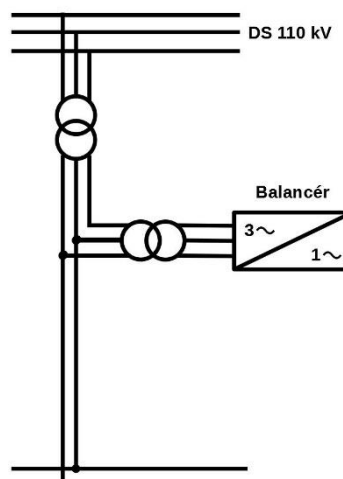
Obr. 2-5 Schéma trakční sítě se zaznačenými systémy napájecích soustav [20]

V současné době se připravují projekty rekonstrukce, rozšiřování a přechodu tratí napájených stejnosměrným napětím, na střídavé napájení 25 kV/50 Hz. Důvodů k přechodu je několik, například mohou být uvedeny následující. Nízká přenosová schopnost při 3 kV, velké ztráty (přibližně 20 %), velké náklady na rozšiřování těchto trakcí a nepoužitelnost tohoto napájení pro plánované vysokorychlostní tratě. Přechodem na střídavý systém 25 kV, 50 Hz se přibližně 69krát zvýší přenosová schopnost, zvýší se možná zatížitelnost tratí, zmenší se ztráty a bude možné napájet delší úseky tzn. bude potřeba méně napájecích stanic.[42]

Problémem přechodu na střídavý systém za použití současné koncepce napájení je vytváření velkých nesymetrií napětí v DS 110 kV. Dalším nedostatkem toho způsobu napájení, je střídání napájecích fází většinou každých 25 km což může činit problém u vysokorychlostních vlaků pohybujících se rychlostí větší než 160 km/h. Jako řešení těchto problémů se v současné době uvažují dvě možná řešení. Prvním je připojení k DS přes kaskádu měničů 3AC/DC + DC/1AC. Druhou možností je použití paralelně zapojeného balancéru.[42]



Obr. 2-7 Plně průchozí napájecí stanice s kaskádou dvou měničů



Obr. 2-6 Trakční transformovna s paralelním balancérem

### 2.1.3.2 Městské dráhy

Napájení městských drah je provedeno stejnosměrným napětím 600 V a 750 V. Soustava je přes trakční měničny připojena do DS obvykle na napěťovou hladinu 22 kV. V trakčních měničnách se napětí 22 kV transformuje na 525 V nebo 650 V. Napětí je následně usměrněno a rozděleno na jednotlivé napájené úseky. Tramvaje jsou napájeny napětím 600 V. Napájení je provedeno tak, že kladný pól je přiveden na trolej a záporný pól na kolejnici. Jinak je to mu v Brně a v Ostravě, kde jsou póly z důvodu omezení bludných proudů obráceně. Provoz tramvají je v ČR ve městech Praha, Brno, Liberec, Ostrava, Plzeň, Olomouc, Most, Litvínov. Pro napájení metra v Praze je používán systém o napětí 750 V. Napájení je provedeno tak, že kladný pól je přiveden na napájecí kolejnici, záporný k projížděným kolejím [11]. Trolejbusová doprava je napájena přes trakční měničny, napájené z DS, napětím 600 V nebo 750 V.

## 2.2 Rozdělní sítí z hlediska spojení uzlů transformátorů

Elektrické sítě se z hlediska provozu dají dělit podle způsobu spojení uzlů vinutí transformátorů se zemí. Způsob uzemnění uzlu nemá za normálního provozu na síť žádný vliv. Vliv uzemnění hraje roli pouze při spojení jedné fáze vedení se zemí, kdy ovlivňuje velikost poruchového proudu a velikost napětí mezi fází a zemí. Z hlediska způsobu uzemnění uzlů transformátorů rozeznáváme sítě izolované, neúčinně uzemněné a účinně uzemněné.[53]

### 2.2.1 Sítě izolované

Uzel vinutí transformátoru na uvažované straně není spojen se zemí. Při spojení jedné fáze se zemí protéká místem spojení poruchový proud kapacitního charakteru, jehož velikost je určena velikostí kapacity zdravých fází vůči zemi. Výhodou tohoto zapojení je možnost sít' nadále provozovat. Nevýhodou je vzrůst napětí na fázích, které nejsou spojeny se zemí, na sdruženou hodnotu. Vzhledem k tomu musí být izolace vedení dimenzována tak, aby vzrůstu napětí odolala. Jako izolované se obecně provozují sítě, kde hodnota poruchového kapacitního proudu nepřesahuje 20 A. Konkrétněji to jsou sítě vysokého napětí (35 kV až 6 kV), malého rozsahu.[53]

### 2.2.2 Sítě neúčinně uzemněné

Tyto sítě mají uzel transformátoru na uvažované straně uzemněný přes velkou impedanci. Dělí se na sítě kompenzované a sítě uzemněné přes rezistanci.

#### 2.2.2.1 Sítě kompenzované

Uzel transformátoru je spojen se zemí přes zhašecí tlumivku. Při spojení jedné fáze se zemí dodává tlumivka proud induktivního charakteru, který kompenzuje poruchový proud kapacitního charakteru a tím dochází ke zmenšení celkového proudu procházejícího místem spojení fáze se zemí. Sítě kompenzované mají v podstatě stejné vlastnosti při spojení jedné fáze se zemí jako sítě izolované, pouze s tím rozdílem, že proud tekoucí místem poruchy je zmenšen díky zhašecí tlumivce. Použití kompenzovaných sítí je dáno velikostí jejich kapacitního proudu. Pro venkovní vedení je to 100 A, u vedení smíšených 300 A a u vedení kabelových 450 A.[53]

#### 2.2.2.2 Sítě uzemněné přes rezistanci

Uzel transformátoru je spojen se zemí přes rezistor, jehož účelem je omezovat poruchový kapacitní proud v případě spojení jedné fáze se zemí. Nevýhodou tohoto způsobu uzemnění uzlu je nutnost, při spojení fáze se zemí, síť vypnout. Výhodou je však omezení přepětí. Sítě uzemněné přes rezistanci se používají u kabelových vedení velkého rozsahu, kde poruchové proudy nabývají velikých hodnot.[53]

### 2.2.3 Sítě účinně uzemněné

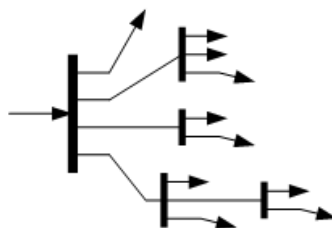
Uzel transformátoru na uvažované straně je spojen přímo se zemí přes malou impedanci. Výhoda tohoto zapojení spočívá v tom, že při spojení jedné fáze se zemí je napětí uzlů transformátoru vůči zemi téměř nulové. Na zdravých fázích se nezvětší napětí na sdružené, ale zůstává stále na původní fázové hodnotě. Tím pádem se izolace dimenzuje pouze na fázové napětí, což je levnější. Nevýhodou tohoto způsobu uzemnění je nutnost okamžitého vypnutí sítě při poruše. Jako sítě účinně uzemněné se provozují sítě velmi vysokého napětí 110 kV, 220 kV, 400 kV a převážná většina sítí 0,4 kV.[53]

## 2.3 Rozdělení sítí z hlediska uspořádání

Z hlediska uspořádání se sítě dělí na otevřené a uzavřené. Sítě otevřené jsou takové, kdy elektrická energie je do sítě dodávána jen jednou cestou. Mezi otevřené patří sítě paprskové a průběžné. Uzavřené sítě jsou uspořádány tak, že napájení lze zajistit z více než jedné strany. Patří mezi ně sítě okružní, zjednodušené mřížové a mřížové. Výběr uspořádání soustavy závisí na způsobu jejího provozu, potřebném stupni zabezpečení dodávky, napětí soustavy a na požadavcích na bezpečnost a hospodárnost.[84]

### 2.3.1 Paprskový rozvod

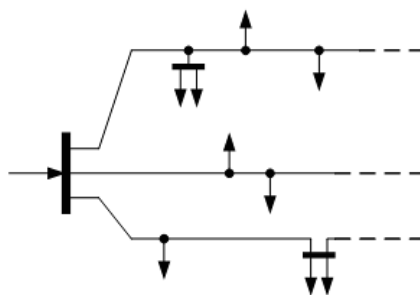
Paprskový rozvod je topologicky řešen tak že, je napájen pouze z jedné strany a každý vývod zásobuje samostatně jednotlivé odběry. Tyto rozvody jsou jednoduché, levné a nenáročné na obsluhu. Jejich nevýhodou je však malá spolehlivost dodávky elektrické energie, kolísání napětí a relativně velké úbytky napětí na vedení. Paprskový rozvod je využíván u většiny distribučních sítí vysokého napětí a u sítí nízkého napětí v obcích, malých městech a v průmyslu.[84][99]



Obr. 2-8 Průběžná síť [13]

### 2.3.2 Průběžný rozvod

Průběžný rozvod je tvořen dlouhým průběžným vedením napájeným z jedné strany, ze kterého jsou buď paprskově nebo smyčkově vyvedeny odbočky. Tento rozvod má podobné vlastnosti jako rozvod paprskový. Je jednoduchý a nenáročný na obsluhu. Spolehlivost dodávky je stejně jako u paprskového rozvodu malá. Zároveň také vlivem dlouhého průběžného vznikají velké úbytky napětí.[99]

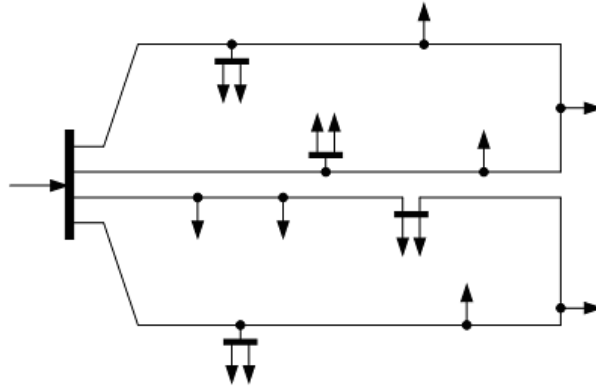


Obr. 2-9 Průběžný rozvod [13]



### 2.3.3 Okružní rozvod

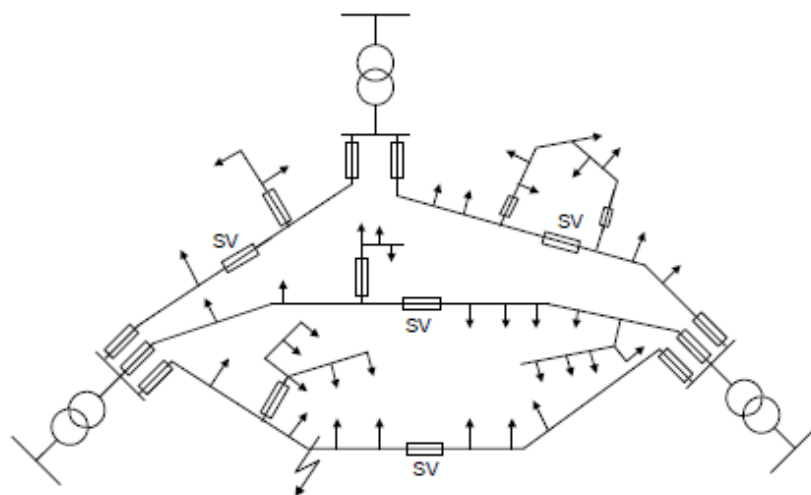
Vedení okružního rozvodu tvoří smyčky, ze kterých jsou vyvedeny jednotlivé odbočky. Sít' se za běžných provozních stavů provozuje jako paprskový rozvod a v případě poruchy na vedení lze paprsky spojovat do smyček a polosmyček, aby byla zajištěna spolehlivá dodávka el. energie. Výhodou okružního rozvodu je větší spolehlivost dodávek energie, menší kolísání napětí a menší úbytky napětí na vedení. Nevýhodou tohoto vedení je, že je oproti předchozím nákladnější.[84][99]



Obr. 2-10 Okružní rozvod [13]

### 2.3.4 Zjednodušený mřížový rozvod

Zjednodušený mřížový rozvod je napájen minimálně ze dvou transformátorů. Transformátory jsou vzájemně propojeny vedením o velkém průřezu, ze kterého jsou vyvedeny jednotlivé odbočky. Na vedeních spojující transformátory jsou tzv. pojistky slabé vazby. Tyto pojistky jsou dimenzovány tak aby v případě poruchy reagovali dřív než hlavní pojistky transformátorů. Tím zajistí, aby část rozvodu, kde není porucha, zůstal v chodu. Výhodou této topologie je velká spolehlivost dodávky energie, malé kolísání napětí a malé úbytky napětí.[99]

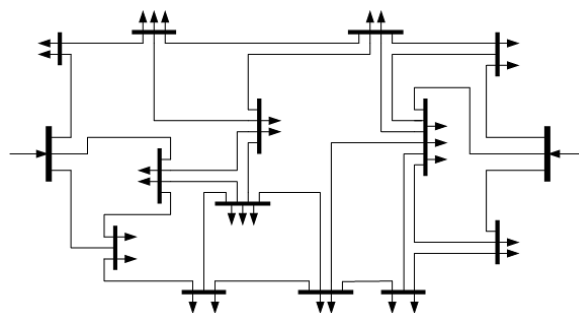


Obr. 2-11 Zjednodušený mřížový rozvod [10]



### 2.3.5 Mřížový rozvod

Mřížový rozvod vzniká spojením několika křižujících se vedení do uzlů. Rozvod je napájen minimálně ze dvou transformátorů. Většinou se pro mřížové rozvody používají vedení stejného průřezu. Výhodou těchto rozvodů je spolehlivost dodávky energie, vlivem velké možnosti náhradního zásobování a jednoduchá ochranná soustava (na všech uzlech jsou stejné pojistky). Napětí při použití této topologie je stálé, a to i v případě poruchy. Nevýhodou je pak jejich složitost a náročná obsluha. Mřížové rozvody se používají ve městech s měrnou hustotou 1 MW/km a více. [84][99]

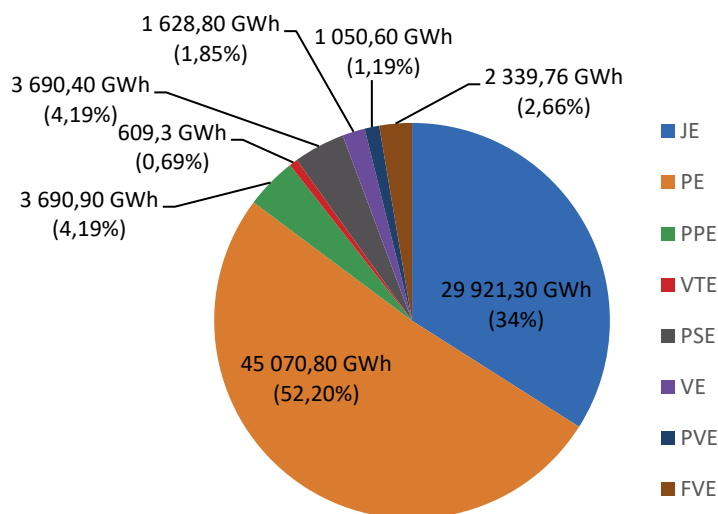


Obr. 2-12 Mřížový rozvod [13]

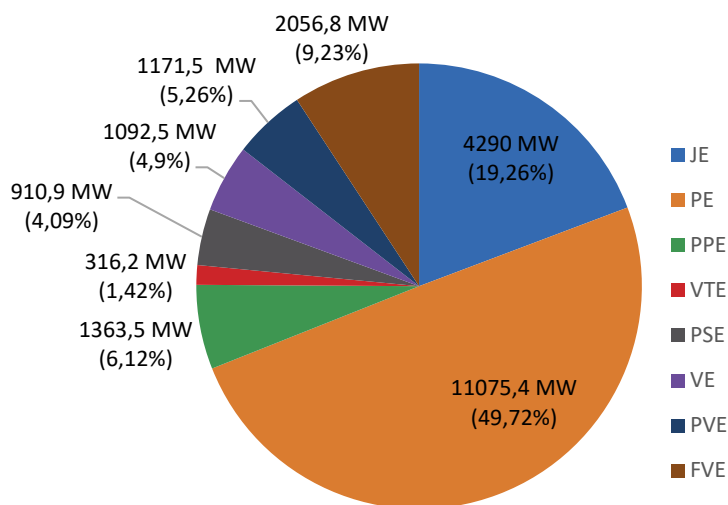
## 2.4 Výroba a spotřeba elektrické energie

### 2.4.1 Výroba elektrické energie v ČR

V České republice, v roce 2018, činila výroba elektřiny brutto 88 001,8 GWh elektrické energie, což je nárůst oproti roku 2017 o 963,8 GWh (+1,1 %). Netto výroba elektrické energie za rok 2018 činila 81 902 GWh. Celkový instalovaný výkon elektráren v ČR je 22 276,9 MW. Největší podíl na instalovaném výkonu mají parní elektrárny a to 11 075,4 MW (49,7 %). Parní elektrárny mají také největší podíl na výrobě. Za rok 2018 vyrobily 45 070,8 GWh, což odpovídá 51,2 % z celkové výroby. Podíly jednotlivých technologií na výrobě a celkovém instalovaném výkonu, podle [67], jsou uvedeny v následujících grafech.



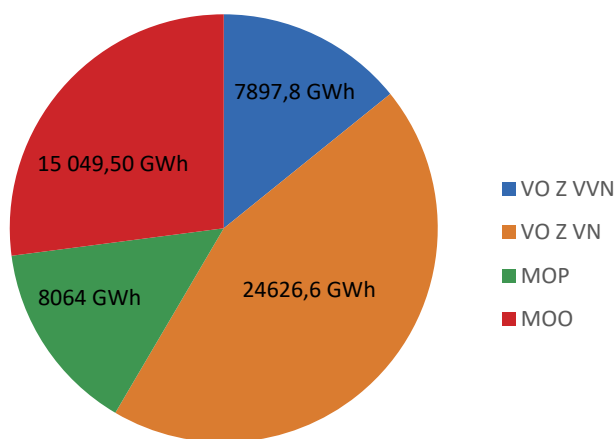
Obr. 2-13 Podíl jednotlivých technologií na výrobě



Obr. 2-14 Instalovaný výkon elektráren v ČR

### 2.4.2 Spotřeba elektrické energie v ČR

V České republice, v roce 2018, činila brutto spotřeba elektrické energie 73 941 GWh, což je největší hodnota za dobu jejího sledování. Nárůst oproti předchozímu roku byl o 123 GWh (+0,17 %). Netto spotřeba byla 62 198,6 GWh. V roce 2018 bylo trvale záporné saldo importu a exportu, za celý rok saldo činilo 13 900 GWh. Největší podíl na spotřebě má velkoodběr z VN, nejmenší pak velkoodběr z VVN. [67]

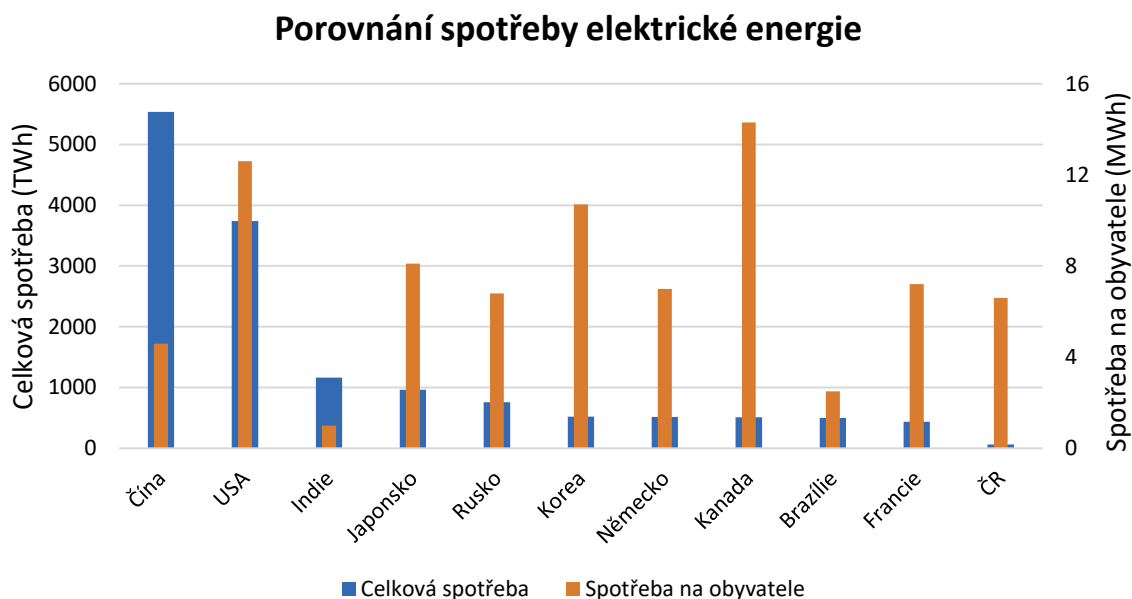


Obr. 2-15 Spotřeba elektřiny podle kategorií spotřeb

### 2.4.3 Porovnání spotřeby vybraných oblastí

Pro porovnání byla použita data Mezinárodní Energetické Agentury (International Energy Agency, IEA), která jsou aktuální pro rok 2017. Z nich vyplývá, že celková světová spotřeba elektrické energie byla, v roce 2017, 21 372 TWh. Největší podíl na celosvětové spotřebě měl průmysl a to, 8 945 TWh (41,83 %).

Zemí s největší spotřebou elektrické energie byla Čína, která měla spotřebu 5 537 TWh. V následujícím grafu je uvedeno srovnání spotřeby ČR, z hlediska celkové spotřebované energie a spotřeby energie připadající na jednoho obyvatele, s deseti největšími spotřebiteli elektrické energie na světě. [15]



Obr. 2-16 Porovnání spotřeby vybraných států [15]

## 3 HLAVNÍ PARAMETRY VYBRANÝCH KOMPONENTŮ ELEKTRICKÝCH SÍTÍ

### 3.1 Vedení

Vedení je základním prvkem elektrizační soustavy sloužící k přenosu elektrické energie mezi dvěma body sítě. Elektrická vedení se dají obecně rozdělit na vedení venkovní a kabelové. Využití kabelového, nebo venkovního vedení závisí mimo jiné na technických a topografických podmínkách místa kde bude vedení procházet, dále také závisí na požadavcích na bezpečnost a spolehlivost provozu a v neposlední řadě také na investičních nákladech na výstavbu.[84]

#### 3.1.1 Venkovní vedení VVN

Vodiče venkovního vedení VVN můžeme obecně rozdělit na dvě kategorie. První jsou vodiče tvořené běžnou ocelí, hliníkem nebo hliníkovými slitinami. Druhou kategorií jsou pak vysokoteplotní vodiče tvořené ze speciálních teplotně odolných hliníkových slitin s jádrem tvořenými z nejrůznějších druhů oceli, nebo z kompozitu.

Vedení VVN bývá nejčastěji tvořeno venkovním vedením s ocelohliníkovými lany ACSR (AlFe). Jádro je spleteno z drátů z oceli a kolem něj je pak plášť tvořený hliníkovými dráty.[93]

Dalším více využívaným vodičem jsou AAAC lana, tvořená z pouze z tepelně ostřené slitiny hliníku, hořčíku a křemíku. Jako další, méně používané, typy vodičů z běžné oceli a běžných slitin hliníku jsou například následující.[93]

AAC – vodič vyrobený pouze z čistého hliníku, oproti ACSR je lehčí a má větší vodivost.[93]

ACAR – kombinace AAAC a AAC. Parametry takového vodiče jsou dány poměrem průřezů dílčích vodičů. Zvětšením průřezu vodiče AAAC získáme větší pevnost, ale snížíme vodivost. Zvětšením průřezu AAC snížíme rezistivitu a snížíme pevnost.[93]

Vysokoteplotní vodiče jsou svojí konstrukcí v podstatě stejné jako vodiče ACSR. Pro plášť se používají slitiny s označením TAL (teplotně odolný hliník) s provozní teplotou 150 °C a ZTAL (zvláště teplotně odolný hliník) s provozní teplotou 210 °C. Konkrétní druhy vysokoteplotních vodičů jsou následující.[103]

TACSR, ZTACSR – je to v podstatě stejný vodič jako ACSR s tím rozdílem, že je použita buď slitina TAL nebo ZTAL. Jejich výhodou je větší provozní teplota, která umožňuje větší proudové zatížení vodiče. Tyto vodiče se mohou používat tam, kde je zajištěna dostatečná vzdálenost vodičů nad zemí, protože vlivem větší provozní teploty dochází k většímu průhybu.[103]

GTACSR, GZTACSR – tyto vodiče mají velmi specifickou konstrukci. Jádro je tvořeno z vysokopevnostní oceli, plášť je z TAL nebo ZTAL. Mezi jádrem a pláštěm je mezera, která je naplněna mazivem zabraňujícím tření mezi jádrem a pláštěm. Plášť je ze segmentovaných vodičů, aby nedocházelo k úniku maziva. Pohyb jádra a pláště se dá považovat za téměř na sobě nezávislý. Nosnou funkci pak plní pouze jádro a průhyb vodiče je tak závislý pouze na jeho teplotní roztažnosti. Tyto vodiče mají vysokou teplotní zatížitelnost a výrazně menší průhyb. Jejich nevýhodou je náročná instalace.[103]

ACSS – vodič je tvořen z jádra z vysokoteplotní oceli a pláště z plně žíhaných hliníkových drátů. Vlivem žíhání má vodič větší provozní teplotu oproti ACSR.[103]

ACIR, TACIR, ZTACIR – jedná se o vodiče s pláštěm z hliníku, nebo vysokoteplotních hliníkových slitin. Jádrem je z INVARU, což je slitina niklu a železa. Oproti běžné oceli má INVAR třetinový koeficient roztažnosti, což vede k menším průhybům při vyšších teplotách. Problémem je, že INVAR není tak pevný jako ocel a je proto nutné, aby zabíral větší část průřezu, tím však dochází k snížení vodivosti. Tyto vodiče se používají převážně v Asii. V Evropě a v Americe se moc nepoužívají.[28]

K novějším druhům vodičů patří vodiče s kompozitními jádry. ACFR – jsou to vodiče s jádrem z kompozitu obsahující uhlíková vlákna. Vodiče jsou, oproti klasickým ACSR vodičům, o 30 % lehčí a mají menší teplotní roztažnost, tudíž dochází k menším průhybům vodiče při vyšších teplotách. Provozní teplota ACFR je 170 °C.[28]

ACCR – jsou to vodiče s jádrem s kompozitu obsahujícím oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Plášť je z vysokoteplotních hliníkových slitin. Jádrem má opět nízký teplotní součinitel roztažnosti, takže i při provozních teplotách 230 °C má vodič relativně malý průhyb. [28]

Tab. 3-1 Parametry vodičů ACSR (AlFe) venkovního vedení 110kV [57]

Vodiče AlFe	R	X	B	$I_d$
[mm <sup>2</sup> ]	[ $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ]	[ $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ]	[ $\mu\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$ ]	[A]
150/6	0,200	0,4165	2,744	400
185/6	0,156	0,4091	2,796	455
150/6	0,200	0,4220	2,713	800
185/6	0,156	0,4143	2,766	910
210/3	0,130	0,4023	2,852	1 100
240/6	0,125	0,4070	2,817	1 060

### 3.1.2 Venkovní vedení VN

Vedení VN přenáší elektrickou energii do centra její spotřeby. Jsou tvořeny venkovním i kabelovým vedením. V převážné většině jsou tvořena venkovním vedením, pro které se používají holé vodiče, jednoduché izolované vodiče a slané závěsné kabely.[84]

Základním typem vodičů u venkovních vedení VN jsou holé vodiče. Standardně se používají ocelohliníková lana AlFe. Podle normy PN ZSNP 1/83 se používají konkrétně tyto typy: AlFe 42/7, AlFe 70/11-1, AlFe 110/22, AlFe 180/31. Z důvodů zvýšení přenosové schopnosti se může u vodičů AlFe 110/22 provést zdvojení v jednotlivých fázích. [70]

Tab. 3-2 Příklady parametrů AlFe lan [56]

Vodič AlFe	R	X	B	$I_d$
	( $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ )	( $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ )	( $\mu\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$ )	(A)
42/7	0,815	0,402	1,4	163
70/11	0,474	0,421	1,4	236
110/22	0,266	0,421	1,4	318

AlFe 6 + 1 3 x 50 mm <sup>2</sup>	0,696	0,438	1,4	177
AlFe 6 + 1 3 x 70 mm <sup>2</sup>	0,432	0,431	1,4	225
AlFe 6 + 1 3 x 120 mm <sup>2</sup>	0,234	0,421	1,5	357

Dalšími používanými vodiči v rámci vedení VN jsou jednoduché izolované vodiče. Jsou to komprimovaná lana slaná z drátů z hliníkové slitiny. Na rozdíl od holých vodičů jsou opatřeny jednoduchou izolací. Z pohledu ochrany se však tyto vodiče berou jako bez ochrany. Oproti holým vodičům mají menší mezifázovou vzdálenost a menší ochranné pásmo. Používány jsou tyto průřezy 50 mm<sup>2</sup>, 70 mm<sup>2</sup>, 120 mm<sup>2</sup>. [70]

Tab. 3-3 Příklad parametrů jednoduchých izolovaných kabelů [69]

Jmenovitý průřez (mm <sup>2</sup> )	R (Ω.km <sup>-1</sup> )	I <sub>d</sub> (A)	Hmotnost vodiče (kg/km)
35	0,986	200	160
50	0,720	245	200
70	0,493	310	270
95	0,363	370	350
120	0,288	430	425
150	0,236	485	510

Dále se ještě využívají slané závěsné kabely. Jsou to třížilové závěsné kabely s plnou izolací a stíněním, zavěšené pomocí pozinkovaného ocelového lana. Používají se pouze za určitých okolností, například tam kde není možné použít zemní kabely, nebo tam kde vedení vede blízko objektů či zalesněným prostorem. [70]

### 3.1.3 Venkovní vedení NN

Vedení NN je na rozdíl od vedení VN a VVN tvořeno převážně kabelovým vedením. Venkovní vedení NN se používá hlavně v malých obcích, u síťových výběžků samot, nebo tam kde by použití zemních kabelů bylo technicky i finančně náročné. Pro venkovní vedení se používají holé vodiče, izolované vodiče a závěsné kabely.

Pro nově budované vedení se holé vodiče používají pouze v zdůvodněných případech. Jako holé vodiče se používají AlFe lana.

Nové venkovní sítě NN jsou tvořeny slanými izolovanými vodiči. Izolované vodiče jsou tvořeny čtyřmi slanými vodiči o stejném průřezu s hliníkovým jádrem. Vodiče jsou izolovány polyethylenem a jsou stočeny do svazku.

Závěsné kabely jsou tvořeny hliníkovým jádrem. Jednotlivé žíly jsou izolovány PVC a společně s nosným lanem jsou ve vnějším plášti z PVC. Závěsné kabely jsou používány pouze na přípojky. [71]

Tab. 3-4 Příklad parametrů lan AlFe 6 pro NN vedení[56]

Jmenovitý průřez vodiče	R	X
(mm <sup>2</sup> )	(Ω.km <sup>-1</sup> )	(Ω.km <sup>-1</sup> )
25	1,206	0,312
35	0,778	0,301
42	0,687	0,294
50	0,596	0,285
70	0,401	0,276

### 3.1.4 Kabelová vedení

Kabelová vedení umožňují přenést potřebný výkon v místech kde by to venkovním vedením nebylo možné. Oproti vedení venkovnímu jsou pořizovací náklady na vedení kabelové několikanásobně větší, zvláště pak u vedení VVN. Kabelová vedení také zvyšují svojí kapacitou jalové ztráty a je nutné je kompenzovat. Další nevýhodou kabelových vedení oproti venkovnímu vedení je delší doba hledání a následné opravy poruchy. Na druhou stranu velkou výhodou kabelového vedení je menší poruchovost, vzhledem k tomu, že na vedení nepůsobí nepříznivé vlivy počasí. Kabelová vedení také na rozdíl od vedení venkovního nemění příliš krajinný ráz.[4] Kabelová vedení mají oproti venkovním vedením kratší dobu životnosti. V rámci přenosové soustavy je podle [54] běžná doba životnosti kabelového vedení 50 let, kdežto u vedeních venkovních je to 60 let. V rámci distribuční soustavy je podle [36] běžná doba životnosti kabelového vedení 50 let pro nová kabelová vedení a 40 let pro olejová kabelová vedení. Běžná životnost venkovního vedení v DS je 40 let [36].

V Evropě je obecně trendem využívat kabelová vedení, a to hlavně na napětových hladinách NN a VN. Například v Nizozemsku jsou všechny rozvody NN a VN provedeny jako kabelové vedení. Vysoký podíl kabelových vedení má také Německo, Dánsko, Švýcarsko a Lucembursko. Podíly kabelových vedení na přenosu elektrické energie, v zemích EU, na napětové hladině NN a VN, jsou znázorněny v obrázku 3-1. MV je ekvivalentem vysokého napětí, LV pak nízkého napětí.[1]



Obr. 3-1 Podíl kabelového vedení na přenosu elektrické energie v zemích EU [1]

### 3.1.4.1 Kabelová vedení VVN

Pro kabelové zemní vedení se používají jednožilové kabely, které se ukládají do kabelového lože tvořeného pískem a cementem v poměru 14:1. Kabelové lože zajišťuje definovaný odvod tepla od kabelů a jejich mechanickou ochranu. Investiční náklady na kabelové vedení mohou být až pětikrát vyšší než u vedení venkovního.[4]

### 3.1.4.2 Kabelové vedení VN

Nejvíce jsou používány v městských zástavbách. Kabely se ukládají do země, nebo ve velkých městech do podzemních kolektorů. Nejčastěji používaný kabel pro vedení VN je AXEKVCEY o průřezech 70 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup>, 240 mm<sup>2</sup>. Novějším typem kabelu, který je používán je kabel A2XS(F)2Y.[98]

Tab. 3-5 Parametry kabelu AXEKVCEY [57]

22-AXEKVCEY (uložení vedle sebe v zemi)				
S	I <sub>d</sub>	R	L	C
(mm <sup>2</sup> )	(A)	(Ω.km <sup>-1</sup> )	(mH.km <sup>-1</sup> )	(μF.km <sup>-1</sup> )
35	165	0,868	0,70	0,16
50	195	0,641	0,68	0,18
70	237	0,443	0,66	0,20
95	282	0,320	0,64	0,22
120	319	0,253	0,62	0,24
150	352	0,206	0,60	0,26
185	396	0,164	0,59	0,28
240	455	0,125	0,58	0,30



### 3.1.4.3 Kabelová vedení NN

Většina sítí NN jsou tvořena kabelovým vedením. Volba vodičů použitých pro síť závisí na ekonomické výhodnosti a vhodnosti použití. Pro kabelové vedení se používají nejčastěji kabely s hliníkovým jádrem v některých případech s jádrem měděným, například pro domovní přívody. Jako izolace se používá PVC, zesíťovaný polyethylen nebo lineární polyethylen.[72] Dříve se často používaly kabely typu AYKY-J, nyní jsou to kabely typu NAYY-J. Kabely se používají v těchto průřezích: Pro páteřní vedení 4 x 150 mm<sup>2</sup>, pro odbočky 4 x 95 mm<sup>2</sup>, 4 x 50 mm<sup>2</sup>, pro přípojky 4 x 25 mm<sup>2</sup> 4 x 16 mm<sup>2</sup>. Pro náhradu stávajících kabelů 185 mm<sup>2</sup> nebo 240 mm<sup>2</sup> se používá průřez 4 x 240 mm<sup>2</sup>. [87]

Tab. 3-6 Příklad parametrů kabelů AYKY[56]

Jmenovitý průřez vodiče	R	X
(mm <sup>2</sup> )	(Ω.km <sup>-1</sup> )	(Ω.km <sup>-1</sup> )
25	1,233	0,0811
50	0,619	0,0773
95	0,326	0,0744
150	0,206	0,0736
185	0,167	0,0735
240	0,129	0,0727

## 3.2 Optická infrastruktura

Nedílnou součástí elektrizační soustavy jsou sdělovací sítě, umožňující datovou komunikaci. S čím dál tím většími požadavky na větší spolehlivost a kvalitu dodávek elektrické energie je nutné vytvoření optické infrastruktury uspokojující potřeby na čím dál tím větší potřebu dálkového řízení a automatizaci sítí.

Jedním z prvních kroků k vytvoření optické infrastruktury bylo použití kombinovaných zemních lan (KZL) na hladině VVN v přenosové soustavě a distribuční soustavě. Vytvoření optické infrastruktury bylo v tomto případě relativně jednoduché, neboť stačilo pouze nahradit původní zemní lana která byla již součástí vedení, zemními kombinovanými lany.[33]

V rámci hladiny VN je vytvoření podobné infrastruktury poněkud komplikovanější, protože u většiny vedení na této napěťové hladině nejsou tažena zemní lana. Pokud jsou pro vedení VN použity jako podpěrné body příhradové stožáry je možno umístit KZL do držáků zemních lan stejně jako na hladině VVN.[33] Pro vedení VN, které nepoužívají jako podpěrné body příhradové stožáry je možné použití samonosných dielektrických optických kabelů (SDOK). Způsobu uchycení SDOK na podpěrný bod je více a závisí na místních podmínkách, nejběžněji se umísťuje na samotnou konzolu pod vodiče, nebo se umísťuje jako “čtvrtý” vodič na speciální konzolu.[73]

Dalším možným provedením optické trasy je využití zemního optického kabelu (ZOK) vloženého do trubky z vysokohustotního polyethylenu (HDPE), která slouží jako mechanická ochrana. HDPE trubka je uložena do země buď samostatně, nebo je přiložena k elektrickým kabelovým vedením.[73]

V rámci sítí NN je jednou z testovaných možností vedení optických kabelů použití kombinace silového kabelu s vloženou mikrotrubičkou. Příkladem takového kabelu je kabel typu AYKY-J-OT. Tento speciální typ kabelu vzniká úpravou výchozího silového kabelu 1 kV AYKY-J, do jehož středu je vložena polymerní mikrotrubička. Do této trubičky se následně instaluje optický mikrokabel, pomocí kterého se realizují přenosy dat. Konstrukce kabelu v tomto případě poskytuje mechanickou ochranu mikrotrubičky tedy i mikrokabelu. V roce 2017 byly tyto kabely využívány na vybraných trasách a probíhalo na nich měření provozních vlastností. [88]

### 3.3 Podpěrné body venkovních vedení

Stožáry a sloupy jsou základním nosným prvkem venkovního vedení. Použití konkrétního typu stožáru závisí mimo jiné na účelu stožáru, počtu fázových vodičů a jejich uspořádání, napěťové hladině vedení, terénu a silách které budou na stožár za provozu působit. Pro vedení VVN se používají příhradové ocelové stožáry. Pro vedení VN se používají betonové, dřevěné a ocelové sloupy, případně se také používají příhradové ocelové stožáry. Pro vedení NN se používají betonové, dřevěné a ocelové sloupy.[53]

#### 3.3.1 Betonové sloupy

Betonové sloupy se používají pro jednoduchá i dvojitá vedení. Jsou vyráběny z předpjatého odstředovaného betonu EPV, v rozsahu délek 9 až 13,5 m a rozsahu dovolených vrcholových sil 3 až 20 kN. Používají se jako jednoduché, nebo v případě nutnosti zvýšení dovoleného vrcholového namáhání, se používají jako zdvojené. Mají betonové základy, konkrétní typ použitého základu závisí na typu betonového sloupu a únosnosti půdy. Jejich výhodou je stálost vlastností během životnosti, nevýhodou je pak jejich velká hmotnost, která stěžuje jejich výstavbu v těžko přístupných oblastech.[70]

#### 3.3.2 Dřevěné sloupy

Dřevěné sloupy se obecně dělí na sloupy montované přímo do země a sloupy určené pro montáž na betonovou patku. Pro výrobu dřevěných sloupů se používají smrk, borovice a jedle. Nevýhodou dřevěných sloupů je jejich náchylnost k hnilobě zvláště u sloupů určených pro montáž přímo do země. Pro potlačení hniloby se dřeviny používané pro výrobu impregnují. Výhodou dřevěných sloupů jsou malé pořizovací náklady a nízká hmotnost. Používají se hlavně v těžko přístupných místech, v chráněných krajinných oblastech a v národních parcích. Dřevěné sloupy mohou být provedeny jako jednoduché nebo dvojité. [71]

#### 3.3.3 Ocelové plechové sloupy

Ocelové plechové sloupy se používají v příměstských oblastech a v místech kde není přístup pro mechanizaci. Ocelové sloupy jsou tvořeny svařenými ocelovými plechy, které jsou chráněny proti korozi žárovým pozinkováním. Sloupy mají kónické nebo mnohoúhelníkové průřezy. Jejich výhodou je delší životnost a malá hmotnost. [70]

#### 3.3.4 Ocelové příhradové stožáry

Ocelové příhradové stožáry jsou svou konstrukcí určeny hlavně pro dvojitá a vícenásobná vedení s holými nebo jednoduše izolovanými vodiči. Pro vedení jednoduchá se používají v případech, kdy je potřeba kvůli průhybu umístit podpěrný bod výše, nebo tam kde působí větší vrcholové síly.[70] Stožáry jsou tvořeny ze svařovaných příhradových profilů tvaru L, které jsou spojeny dohromady pomocí šroubů. Jako ochrana proti korozi se používá žárové pozinkování

povrchu, nebo v některých případech pomocí nátěru. Stožáry se vyrábí v délkových řadách 12 m až 24 m s dovolenými vrcholovými silami 12 kN až 80 kN.[43]

Příhradové stožáry se používají výhradně pro vedení VVN a v některých případech pro VN. Existuje několik druhů stožárových konstrukcí, pro různé napětové hladiny a konfigurace vedení. Nejčastěji používanými typy stožárů jsou konstrukce tvaru Dunaj, Kočka, Portál a Soudek. Pro vedení 110 kV se v rámci přenosové soustavy používá podchodový stožár a stožár typu soudek. Pro vedení 220 kV se používají stožáry typu soudek, donau, jednonásobný a dvojnásobný portál. Pro vedení 400 kV se používají stožáry typu delta, donau, portál, kočka. [106]

### 3.3.5 Sklolaminátové sloupy

Novějším typem podpěrných bodů venkovního vedení jsou sklolaminátové sloupy. Tyto sloupy se používají v některých zahraničních zemích, v ČR se nepoužívají. Sloupy jsou vyrobeny z vnitřního pěnového jádra a skelných vláken. Výhodou těchto sloupů je oproti předchozím zmíněným podpěrným konstrukcím jejich nízká hmotnost a bezúdržbovost. Další výhodou je, že sloupy nekorodují ani nehnijí, což má za následek jejich dlouhou životnost.[26]

## 3.4 Transformátory

Transformátor je netočivý elektrický stroj sloužící k přenosu elektrické energie pomocí střídavého magnetického pole. V ES je nejčastěji používán k změně napětí při zachování kmitočtu. Transformátory určují základní uspořádání sítí. Uvádají jmenovité napětí, způsob zemnění i hodinové úhly. Podle [54] je běžná doba životnosti transformátorů v PS 40 let. Podle [36] je běžná doba životnosti transformátorů v rámci DS 40 let pro transformátory VVN/VN a 35 let pro transformátory VN/NN.

Jak již bylo zmíněno v 2.2, síť 400 kV, 200 kV, 110 kV, a 0,4 kV se provozují jako účinně uzemněné, tzn. uzel transformátoru je přímo spojen se zemí. Transformátory připojené do ZVN a VVN mají přídatný terciální nebo sekundární trojúhelník. Tento trojúhelník je u transformátorů ZVN a VVN vždy na straně nižšího napětí a u transformátorů VN/NN je na straně vyššího napětí. Trojúhelník se používá z mnoha důvodů. Jedním z nich je ten, že trojúhelník uzavírá netočivou složku proudu, což má pozitivní vliv při nesymetriích v síti způsobených nesymetrií zátěže, hlavně na straně NN, nebo nesymetriích způsobených při poruše jedné fáze. [5]

### 3.4.1 Transformátory ZVN/VVN a VVN/VVN

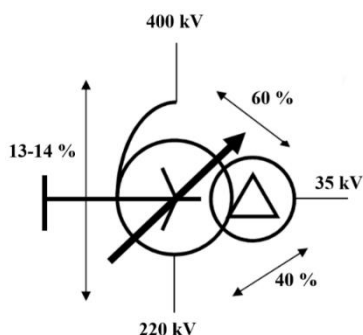
Transformace napětí na hladinách ZVN a VVN je řešena použitím autotransformátorů. Jsou to transformátory, u kterých primární i sekundární strana sdílí společné vinutí. Nevýhodou tohoto provedení je, že primární a sekundární strana nejsou galvanicky odděleny. Při náhodném přerušení vinutí se tak vyšší napětí na primární straně dostane na sekundární stranu. Oproti klasickým transformátorům je jejich výhodou nižší cena, nižší rozměry a hmotnost.[5]

Transformátory 400/220 kV mají regulaci na nižší straně napětí u uzlu vinutí. Pro regulaci je použito buď 23 odboček po zhruba 1,14 %, nebo 21 odboček po 0,87 %.[5]

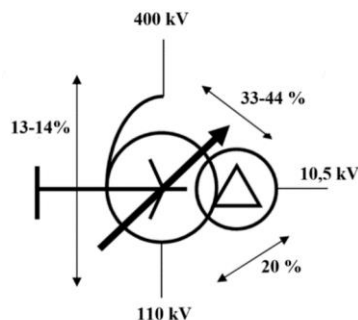
U transformátorů 400/110 kV a 220/110 kV je regulace napětí na nižší straně napětí. Pro regulaci je použito 19 odboček po zhruba 1,45 %.[5]

Pro transformační vazby 400/220 kV se používají transformátory o výkonech 500 MVA. Pro transformační vazby 400/110 kV se používají transformátory o výkonech 250 a 350 MVA. Pro vazby 220/110 kV se používají transformátory 200 MVA.[38]

Kvůli omezení zkratových proudů mají transformátory 400/220 kV poměrná napětí nakrátko téměř dvojnásobná oproti transformátorů 400/110 kV.[5]



Obr. 3-2 Síťové transformátory 400/220 kV [5]



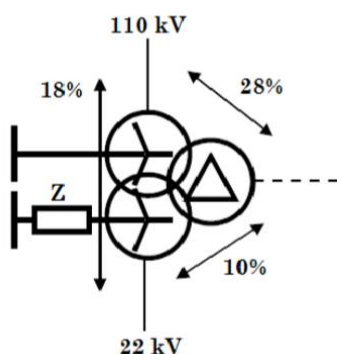
Obr. 3-3 Síťové transformátory 400/110 kV [5]

### 3.4.2 Transformátory VVN/VN

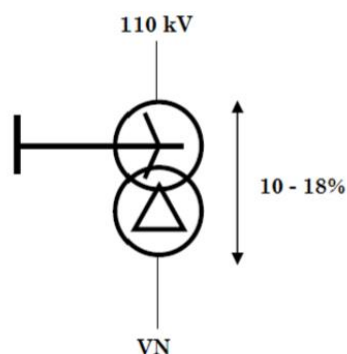
Jako transformátory VVN/VN jsou použity dvouvinutové transformátory, tzn. primární a sekundární strana jsou galvanicky odděleny. Tyto transformátory se také liší způsobem uzemnění sekundární strany vinutí. Síť VN se, jak bylo zmíněno v 2.2, provozují buď jako izolované, nebo jako síť neúčinně uzemněné. Transformátory mají také terciální trojúhelník, použitý ze stejných důvodů jako u transformátorů ZVN(VVN)/VVN.[5]

U těchto transformátorů se provádí regulace na straně vyššího napětí. Pro regulaci je použito 17 odboček po 2 %, regulace se provádí i při zatížení [84]. Na obrázku 3-4 je uvedeno zapojení transformátoru velkých továren, společných a vlastních spotřeb elektráren a tepláren, a blokových transformátorů. Tyto transformátory mají sekundární vinutí zapojené do hvězdy.[5]

Nejčastěji používanými transformátory 110/22 kV jsou transformátory o výkonech 10, 16, 25, 40 MVA. Pro transformaci 110/6 kV se pak používají například transformátory o výkonu 31,5 MVA.[84]



Obr. 3-5 Síťové transformátory 110/22 kV[5]



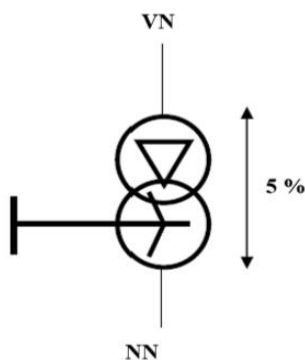
Obr. 3-4 Transformátory velkoodběratelů a výroben elektrické energie[5]

Tab. 3-7 Parametry transformátorů 110/22 kV [57]

$S_n$	$e_k$	$i_0$	$\Delta P_0$	$\Delta P_{Fe}$
(MVA)	(%)	(%)	(kW)	(kW)
10	9,6	3	42	13
16	9,6	3	51	17
25	9,5	2	63	24
40	9,8	2	86	35

### 3.4.3 Transformátory VN/NN

U transformátorů VN/NN je sekundární strana opět účinně uzemněna. Literatura [84] uvádí, že výkony běžných transformátorů VN/NN používaných v sítích se pohybují do 1250 kVA. Podle [57] můžeme však vidět, že někteří výrobci jako např. ABB a SIEMENS mají ve své nabídce i transformátory větších výkonů. Regulace napětí probíhá na straně vyššího napětí bez zatížení. U starších transformátorů se provádí regulace pomocí 3 odboček po kroku 5 %, u novějších transformátorů je použito 5 odboček po kroku 2,5 %.[84]



Obr. 3-6 Transformátory VN/NN[5]

Tab. 3-8 Parametry transformátorů 22/0,4 kV ABB RESIBLOC [57]

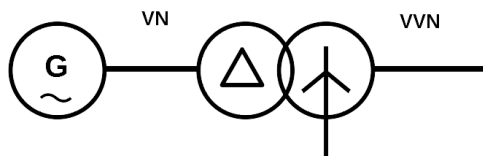
$S_n$	$e_k$	$i_0$	$\Delta P_0$	$\Delta P_{Fe}$
(kVA)	(%)	(%)	(W)	(W)
160	4	4	2 150	870
250	4	4	3 000	1 100
400	4	4	4 250	1 450
630	4	4	6 000	2 000
160	6	5	2 500	650
250	6	5	3 300	880
400	6	5	4 800	1 200
630	6	5	6 900	1 650
800	6	4	8 100	1 900
1 000	6	4	9 600	2 300
1 250	6	4	11 500	2 700
1 600	6	4	14 000	3 100

Tab. 3-9 Parametry transformátorů 22/0,4 kV SIEMENS TUNORMA [57]

$S_n$	$e_k$	$i_0$	$\Delta P_0$	$\Delta P_{Fe}$
(kVA)	(%)	(%)	(W)	(W)
160	4	5	3 100	460
250	4	5	4 200	650
400	4	5	6 000	930
630	4	5	8 400	1 300
1 000	6	4	13 000	1 700
1 250	6	4	16 000	2 100
1 600	6	3	20 000	2 600
2500	6	3	29 000	3 500

### 3.4.4 Blokové transformátory

Blokové transformátory transformují alternátorové napětí na napětí přenosové soustavy (400, 220 kV) a slouží tak vyvedení výkonu z elektrárny do nejbližší rozvodny. Provedení transformátorů bývá většinou dvouvinutové nebo třívínutové v případě, kdy jsou přes jeden transformátor vyvedeny výkony dvou alternátorů. Transformátory jsou řešeny buď jako jeden třífázový, nebo jako tři transformátory jednofázové. Zapojení těchto transformátorů je do trojúhelníku na straně alternátoru a do uzemněné hvězdy na straně sítě. Výkon transformátoru závisí na velikosti výkonu alternátoru. [49]



Obr. 3-7 Zapojení blokových transformátorů

## 3.5 Generátory

Generátory jsou elektrické točivé stroje, které pomocí magnetické indukce přeměňují mechanickou energii na energii elektrickou. Používanými druhy generátorů pro výrobu elektřiny jsou synchronní generátory s hladkým rotorem, synchronní generátory s vyniklými póly a asynchronní stroje pracující v generátorickém režimu. [49]

### 3.5.1 Generátory tepelných a jaderných elektráren

V jaderných a tepelných elektrárnách jsou využívány dvoupólové synchronní generátory s hladkým rotorem. Stator je tvořen magnetickým obvodem z nízko ztrátových plechů, které jsou k sobě spojeny svorníky. V magnetickém obvodu jsou vytvořeny drážky, v kterých je dvouvrstvě vloženo vinutí statoru. Z důvodu lepšího chlazení se vinutí u generátorů velkých výkonů, nad 200 MW, rozděluje na dvě paralelní větve. Rotor generátoru je tvořen z jednodílného výkovku ze speciální oceli. V něm jsou pak vyfrézovány drážky, lichoběžníkového tvaru, v nichž je uloženo budící vinutí. Výstupní napětí generátoru se volí podle velikosti požadovaného činného výkonu a to tak, aby proud jedné větve statorového vinutí nepřesáhl 5000 A. Účinník závisí na činném výkonu generátoru a na tom kam do elektrizační soustavy je připojen. Pro generátory velkých výkonů připojených do přenosové soustavy se hodnota účinníku pohybuje mezi 0,85 až 0,9. U generátorů menších výkonů se pohybuje hodnota účinníku kolem 0,8.[49]

Tab. 3-10 Parametry generátoru v JE Dukovany[31]

Zdánlivý výkon	300 MVA
Činný výkon	255 MW
Otáčky	3000 ot/min
Účinník	0,85
Jmenovité napětí	15,75 kV
Jmenovitý proud statoru	10 997 A
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Chlazení	vodík - voda

Tab. 3-11 Parametry generátoru v JE Temelín[32]

Zdánlivý výkon	1 250 MVA
Činný výkon	1 082 MW
Otáčky	3000 ot/min
Účíník	0,9
Jmenovité napětí	24 kV
Jmenovitý proud statoru	26 726 A
Jmenovitý kmitočet	50 Hz
Chlazení	vodík - voda

### 3.5.2 Generátory vodních elektráren

Používaný druh generátoru u vodních elektráren závisí na velikosti jejich výkonu. Pro elektrárny malých výkonů, pod 1 MW, se používají asynchronní stroje pracující v generátorickém režimu. Jejich výhodou je jejich jednoduchost, spolehlivost, nízké nároky na údržbu a nízké náklady. Pro elektrárny větších výkonů se používají synchronní generátory s vyniklými póly. Důvodem jejich použití je možnost změny synchronních otáček, změnou počtu pólů, na otáčky vodní turbíny.[49]

Tab. 3-12 Parametry generátoru v elektrárně Dlouhá Stráně [63]

Zdánlivý výkon	355,5 MVA
Činný výkon	320 MW
Otáčky	428,6 ot/min
Počet pólů	14
Účíník	0,9
Jmenovité napětí	22 kV
Jmenovitý proud statoru	9 329 A
Jmenovitý kmitočet	50 Hz

### 3.5.3 Generátory větrných elektráren

U větrných elektráren se opět používají synchronní i asynchronní generátory. U malých větrných elektráren, do 10 kW, se používají vícepólové synchronní generátory s permanentními magnety. Pro elektrárny středních výkonů se používají asynchronní stroje s kotvou nakrátko. Pro elektrárny velkých výkonů se používají synchronní generátory s cizím buzením.



Tab. 3-13 Parametry generátoru větrné elektrárny ENERCON E-82 [66]

Typ	Vícepólový synchronní generátor s cizím buzením
Činný výkon	2 000 kW
Otáčky	5,0 – 17,4 ot/min
Frekvence	50 Hz
Chlazení	vzduch - voda

Tab. 3-14 Parametry generátoru větrné elektrárny SIMENS SWT-2.3-93 [75]

Typ	Asynchronní generátor
Činný výkon	2 300 kW
Napětí	690 V
Frekvence	50 Hz
Chlazení	Integrovaný výměník tepla

### 3.6 Výkonové vypínače

Výkonové vypínače jsou důležitým prvkem elektrizační soustavy. Vypínače slouží k vypínání obvodů při zatížení. Kromě jmenovitých proudů jsou schopny vypínat i zkratové proudy do svých jmenovitých hodnot vypínacího proudu. Vypínače mohou být rozděleny do několika kategorií podle různých kritérií, například podle jmenovitého napětí, způsobu pohonu hlavního kontaktu vypínače atd. V této kapitole jsou vypínače děleny podle způsobu zhášení oblouku vznikajícího při vypínání. Způsobů zhášení oblouku je několik, konkrétně jsou uvedeny parametry pro vypínače s SF<sub>6</sub>, vakuové vypínače a vypínače s CO<sub>2</sub>.

#### 3.6.1 Vypínače s SF<sub>6</sub>

Tyto vypínače používají pro zhášení elektrického oblouku elektronegativní plyn SF<sub>6</sub> (fluorid sírový), který má pro toto využití dobré vlastnosti. Vypínače s tímto zhášecím médiem patří mezi jedny z nejpoužívanějších vypínačů, a to jak na hladině VN, tak i na hladině VVN. Konkrétních způsobů zhášení oblouků existuje více, nejpoužívanějším je systém s autopneumatickým zhášedlem, kde je oblouk zhášen proudem plynu, který je vyvolán vypínacím pohybem pístu ve válci.[81]

Nevýhodou použití SF<sub>6</sub> jako zhášecího média je fakt, že se jedná o plyn, který přispívá ke skleníkovému efektu. Oproti CO<sub>2</sub> jsou jeho účinky 23 900krát větší. To má za následek zavádění přísných opatření, jejichž cílem je minimalizovat dopad na životní prostředí. Tyto opatření znamenají pro výrobce, vlastníky a manipulanty s tímto plynem velké náklady.[62]

Tab. 3-15 Parametry vypínače VN s SF<sub>6</sub>, ABB HD4 24 [29]

Jmenovité napětí	25 kV
Jmenovité izolační napětí	25 kV
Jmenovité výdržné napětí při 50 Hz	50 kV
Jmenovité výdržné napětí při atmosf. impulsu	125 kV
Jmenovitá frekvence	50-60 Hz
Jmenovitý proud	630-2 000 A
Jmenovitý zkratový vypínací proud	16-25 kA
Jmenovitý krátkodobý výdržný proud	16-25 kA
Zkratový zapínací proud	40-63 kA
Provozní teplota	-5 až +40°C

Tab. 3-16 Parametry vypínače VVN s SF<sub>6</sub>, SIMENS 3AP1 FI [30]

Jmenovité napětí	123 kV
Jmenovité výdržné napětí při 50 Hz	230 kV
Jmenovité výdržné napětí při atmosf. impulsu	550 kV
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Jmenovitý proud	4 000 A
Jmenovitý zkratový vypínací proud	40 kA
Jmenovitý výdržný proud	40 kA
Provozní teplota	-55 až +55°C

### 3.6.2 Vakuové vypínače

U těchto typů vypínačů jsou kontakty ve vakuu, tzn. jsou v nevodivém a neionizovaném prostředí. Protože vakuum je velmi dobrý izolant mohou se kontakty o sebe při vypínání vzdálit na relativně malou vzdálenost. Vakuové vypínače jsou tak velmi kompaktní. Princip zhášení oblouku je následovný. Při oddálení kontaktů se vytvoří oblouk z kovových par z kontaktního materiálu. Při průchodu proudu nulou dojde k rychlé kondenzaci těchto kovových par a velmi rychlému obnovení dielektrických vlastností. Vakuové vypínače jsou spolehlivé, bezúdržbové a umožňují vysokou četnost spínacích operací.[81]

Vakuové vypínače jsou velmi používané na napěťové hladině VN, ovšem existují i vypínače pro napěťovou hladinu VVN. Důvodem, pro vývoj a výrobu vakuových vypínačů pro hladinu VVN, je hledání alternativy pro vypínače používající plyn SF<sub>6</sub>, které jsou na této hladině nejpoužívanější. Jednou z takovýchto alternativ je například vakuový vypínač 3AV1FG-145 kV od firmy Siemens. Jedná se o vypínač s jmenovitým napětí 145 kV, jmenovitém proudem 3150 A a vypínacím proudem až 40 kA. Zhášecí prostředí je vakuum a jako izolační médium je použit

syntetický vzduch „clean air“ (směs 80 % dusíku a 20 % kyslíku). Jednou z výhod oproti vypínačům s SF<sub>6</sub> je větší rozsah provozních teplot, protože není nutno řešit problémy se zkapaňováním plynu SF<sub>6</sub> při teplotách kolem -33 °C. Očekávaná doba životnosti těchto vypínačů je 50 let, s bezrevizním intervalem minimálně 25 let.[58]

Tab. 3-17 Parametry vakuového vypínače VN, ABB VD4 24[96]

Jmenovité napětí	24 kV
Jmenovité izolační napětí	24 kV
Jmenovité výdržné napětí při 50 Hz	50 kV
Jmenovité výdržné napětí při atmosf. impulsu	125 kV
Jmenovitá frekvence	50-60 Hz
Jmenovitý proud	630-2 500 A
Jmenovitý zkratový vypínací proud	16-25 kA
Jmenovitý krátkodobý výdržný proud	16-25 kA
Zkratový zapínací proud	40-63 kA
Provozní teplota	-5 až +40°C

Tab. 3-18 Parametry vakuového vypínače VVN, SIMENS 3AV1 FG [58]

Jmenovité napětí	145 kV
Jmenovité výdržné napětí při 50 Hz	275 kV
Jmenovité výdržné napětí při atmosf. impulsu	650 kV
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Jmenovitý proud	3 150 A
Jmenovitý zkratový vypínací proud	40 kA
Jmenovitý dynamický proud	108 kA
Jmenovitý výdržný proud	40 kA
Provozní teplota	-60 až +55°C

### 3.6.3 Vypínače s CO<sub>2</sub>

Jednou z dalších možných alternativ k vypínačům s SF<sub>6</sub> jsou vypínače používající jako zhasací médium CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý). Tento plyn je sice, stejně jako SF<sub>6</sub>, skleníkovým plynem ovšem v porovnání s emisemi tohoto plynu v globálním měřítku je množství používané v elektrických zařízeních zanedbatelné. Zároveň také CO<sub>2</sub> má oproti SF<sub>6</sub> výrazně slabší účinky z hlediska skleníkového jevu. Z důvodů zlepšení vlastností se nepoužívá CO<sub>2</sub> jako zhasací médium samostatně, ale používá se jeho směs s kyslíkem CO<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>. [62] Příkladem takovýchto vypínačů jsou vypínače LTB 72,5D1 AirPlus a LTB 145D1 AirPlus., od firmy ABB.

Tab. 3-19 Parametry vypínače s CO<sub>2</sub>, LTB 72,5D1 AirPlus [45]

Jmenovité napětí	72,5kV až 84 kV
Jmenovitý trvalý proud	2 750 A
Jmenovitý zkratový vypínaný proud	31,5 A
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Provozní teplota	-50 až +50 °C
Ovládání	3-pólové

Tab. 3-20 Parametry vypínače s CO<sub>2</sub>, LTB 145D1 AirPlus [45]

Jmenovité napětí	145 kV
Jmenovitý trvalý proud	3 150 A
Jmenovitý zkratový vypínaný proud	40 A
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Provozní teplota	-50 až +50 °C
Ovládání	3-pólové

## 4 BATERIOVÉ SYSTÉMY

Bateriové systémy se dají obecně rozdělit na systémy síťové, tzn. pracující do DS případně PS, bateriové domácí systémy a průmyslové bateriové systémy.

Bateriové systémy pracující do DS nebo PS mohou plnit řadu funkcí. Jako první může být uvedena akumulace sloužící k umělému zvýšení přenosové kapacity vedení. Zjednodušeně je principem čerpání energie, do baterie zapojené na konci vedení, v době nízkého zatížení a její zpětné dodávání v době vysokého zatížení, čímž dochází k umělému zvýšení přenosové kapacity vedení, vlivem toho že část výkonu nemusí být přenášena vedením, ale je dodávána z baterie. Dále může být baterie využita k regulaci frekvence, kdy baterie dodává v sobě naakumulovanou energii ve formě činného výkonu do sítě, za účelem regulace frekvence, při změně zatížení či výroby. Baterie může být také využita jako točivá rezerva. V tomto případě je baterie udržována nabitá, aby v případě výpadku některého zdroje mohla dodávat výkon po dobu nutnou pro náběh záložních zdrojů. Baterie mohou být taky využity ve spolupráci s obnovitelnými zdroji elektrické energie, jako jsou například fotovoltaické nebo větrné elektrárny, kdy baterie v sobě ukládá energii vyrobenou těmito zdroji v době malého zatížení kdy pro ní není využití, a dodává ji v době velkého zatížení. Dále mohou být baterie využity jako záložní zdroje, pro kompenzaci jalového výkonu nebo mohou sloužit pro vyrovnávání výkonů v menších ostrovních sítích.[27]

### 4.1 Využití síťových bateriových systémů

V této části jsou uvedeny projekty využívající bateriové úložiště, které jsou buď realizovány či plánovány jak ve světě, tak v ČR. Projektů bateriových úložišť je ve světě celá řada, uvedeny jsou proto jen některé z nich pro vytvoření rámcové představy o jejich možných výkonech a kapacitách. Hodnoty parametrů bateriových úložišť jsou platné pro současnou dobu.

V současné době největším využívaným bateriovým úložištěm je Korea Zinc BESS v Jižní Korei, která je využívána k zajištění dodávky elektřiny pro hutě ve špičkovém zatížení a zároveň také slouží pro zefektivnění připojení obnovitelných zdrojů. Druhým největším je Hornsdale Power Reserve BESS v Austrálii, sloužící k regulaci frekvence a akumulaci energie. Jejich parametry jsou uvedeny v následující tabulce. V Tab. 4-2 jsou uvedeny parametry vybraných projektů bateriových úložišť ve světě. [27]

Tab. 4-1 Provozované bateriové systémy ve světě [27]

Název	Výkon	Kapacita	Technologie
	(MW)	(MWh)	-
Korea Zinc	150	150	Li-on
Hornsdale Power Reserve	100	129	Li-on

Tab. 4-2 Plánované bateriové úložiště ve světě [27]

Název	Výkon	Kapacita	Technologie	Pozn.
	(MW)	(MWh)	-	
Li-on BESS v Německu	1300	1300	Li-on	Jedná se o projekt s pěti úložišti: 1x500 MW;2x300 MW;2x100 MW
Vistra Energy	300	1200	Li-on	Všechny tyto úložiště se nachází v USA v Kalifornii a jsou řešena v rámci jednoho projektu
Tesla	182,5	730	Li-on	
Hummingbird Energy Storage	75	-	Li-on	
Micronoc Inc.	10	-	Li-on	
Rongke Power	200	800	VRB	
Průtokové úložiště v Německu	120	700	VRB	

V ČR jsou momentálně využívány čtyři bateriová úložiště. Úložiště společnosti E.ON a Solar Global slouží stejnému účelu, a to je zlepšování kvality sítě a akumulace energie. [27] Účelem úložiště C-Energy Planá je dodávka energie do lokální distribuční soustavy v průmyslové zóně v Plané nad Lužnicí (LDS) a v posílení rozsahu služeb výkonové rovnováhy [24]. Úložiště společnosti ČEZ bylo instalováno v rámci pilotního projektu BAART (Bateriová akumulace pro automatickou regulaci frekvence Tušimice) ve spolupráci s ČEPS. Cílem tohoto projektu je otestovat různé typy provozních režimů baterií, zvláště provozu úložiště za účelem regulace frekvence.[8] V Tab. 4-3 jsou uvedeny parametry zmíněných úložišť v ČR.

Tab. 4-3 Provozovaná bateriová úložiště v ČR[24][8][52][3]

Název	Výkon	Kapacita	Technologie
	(MW)	(MWh)	-
E.ON BESS	1,6	1,75	Li-on
Solar Global BESS	1	1,2	Li-on
C-Energy Planá	4	2,5	Li-on
ČEZ	4	2,8	Li-on

## 4.2 Domácí bateriové systémy

Domácí bateriové systémy mohou sloužit buď k akumulaci elektrické energie vyrobené lokálními zdroji, nebo mohou akumulovat energii v době nízkého tarifu, pro její pozdější využití při tarifu vysokém. Většina domácích bateriových systémů jsou modulární, tzn. je možné skládat více dílčích baterií a tím zvyšovat kapacitu celého systému. V následující tabulce jsou uvedeny kapacity a výkony vybraných domácích bateriových systémů.

Tab. 4-4 Parametry domácích bateriových systémů [61][104][50][44]

Název	Kapacita	Výkon
-	(kWh)	(kW)
TESLA Powerwall (1-10 modulů)	13,5-135	5
EATON xStorage Home	3,6-6	4,2-10,08
Mercedes Benz Energy storage (1-8 modulů)	2,3-18	1,25-4,6
LG RESU Gen 2 48 V	3,2-13,1	3-5
LG RESU Gen 2 400 V	7-9,8	3,5-5

## 5 ELEKTROMOBILITA

Vlivem potřeby snižování lokálních emisí oxidu uhličitého dochází k velkému rozvoji v oblastech alternativních pohonů dopravních prostředků. Nejvíce v současnosti dochází k rozvoji v oblasti elektromobility a vozidel využívajících vodíkových technologií. Zvláště vozidla využívající jako zdroj energie bateriové systémy, existují ve většině odvětvích dopravy, jako například osobní doprava, nákladní doprava, MHD, vlaková doprava atd.

Rostoucí množství takovýchto dopravních prostředků představuje rostoucí zátěž pro ES, neboť z ní jsou bateriové systémy používané v těchto prostředcích dobíjeny. Podle výsledků studie vývoje elektromobility v ČR [64] se nárůst počtu elektromobilů promítne v denním diagramu zatížení nárustem odebíraného výkonu hlavně mezi sedmnáctou a dvacátou hodinou, kdy je možné očekávat, že většina obyvatel bude nabíjet elektromobily po příchodu domů z práce. Podle predikce v roce 2025 je možné v těchto hodinách očekávat maximální soudobé výkony dobíjení na úrovni od cca 20 MW až po cca 450 MW (hodnoty závisí na tom, zda je uvažován nízký, střední nebo vysoký scénář). Dále podle výsledků predikce je pravděpodobné v roce 2030 vznik nové špičky, a to v ranních hodinách, vlivem vyššího podílu dobíjení v zaměstnání, špička ve večerních hodinách však zůstane dominantní, očekávané hodnoty maximálních soudobých výkonů dobíjení se pohybují na úrovni od cca 100 MW až po cca 1 200 MW. V roce 2040 je podle [64] možné očekávat maximální soudobé výkony dobíjení na úrovni od cca 800 MW až po cca 6 GW.

V následující kapitole jsou okrajově uvedeny dopravní prostředky, využívající bateriové systémy, v rámci různých odvětví dopravy. Jsou zde uvedeny parametry vybraných dopravních prostředků, jako například výkon a kapacita baterií.

### 5.1 Osobní elektromobily

V současnosti zažívá největší rozvoj oblast využití elektromobilů pro osobní dopravu. Velká řada výrobců automobilů má ve svém sortimentu nebo testuje elektrické alternativy, ke klasickým automobilům poháněných spalovacím motorem. Elektromobily je možné rozdělit z hlediska kapacity baterie. Podle [27] je možné elektromobily rozdělit na tři kategorie. První kategorie zahrnuje vozidla s malou kapacitou baterií, pod 35 kWh. Využití vozidel s tímto malým dojezdem je například dojezd na nákupy v rámci města. Druhá kategorie zahrnuje vozidla střední třídy s vyšší kapacitou baterií, kolem 60 kWh. U této kategorie vozidel lze předpokládat do budoucna největší nárůst co do počtu na silnicích. Poslední kategorie zahrnuje vozidla s velkou délkou dojezdu, s kapacitou baterie nad 100 kWh.

V následující tabulce je uvedeno porovnání základních parametrů vybraných elektromobilů. Parametry elektromobilů vychází z [14].

*Tab. 5-1 Parametry vybraných osobních elektromobilů*

Název	Výkon (kW)	Kapacita (kWh)	Dojezd (km)
Volkswagen e-Golf	100	32	190
Nissan Leaf	110	36	230
BMW i3	125	37,9	235
Nissan NV2000	80	38	190



Škoda CITIGOe iV	61	32,3	200
Renault ZOE ZE40 R110	80	41	255
Tesla Model 3 Long Range Dual Motor	330	72,5	460
Jaguar I-PACE	294	84,7	370

Následující tabulka uvádí parametry vybraných vozidel, které jsou plánovány pro uvedení do výroby nadcházejících let. Všechna uvedená vozidla jsou koncepty, proto jsou jejich parametry pouze předpokládané odhady.

*Tab. 5-2 Parametry plánovaných elektromobilů [14]*

Název	Výkon	Kapacita	Dojezd
	(kW)	(kWh)	(km)
Tesla Cyber Truck Tri motor	600	200	750
Byton M-Byte 95 kWh 2WD	200	95	400
Tesla Roadster	1000	200	970
Audi Q4 e-tron	225	77	400
Skoda ENYAQ-Vision iV	225	77	400
Volkswagen ID.4	150	77	425

## 5.2 Nákladní automobily

Kromě osobní dopravy jsou vyvíjeny a prodávány i elektrické alternativy pro nákladní dopravu. Jeden z výrobců těchto nákladních vozidel je například společnost VolvoTrucks, která vyrábí dvě varianty nákladních vozů čistě poháněných z bateriového systému. Těmito vozy jsou Volvo FL Electric a Volvo FE Electric. Tyto vozidla jsou určena především do městského prostředí, pro distribuční dopravu, na stavby nebo mohou sloužit jako popelářské vozy. [16] Nákladní automobil pro podobné účely je například i MAN eTruck vyráběný Německou společností MAN Truck & Bus.

Nákladní automobily sloužící pro přepravu na delší vzdálenosti vyvíjejí a testují například společnost Deimler Trucks, konkrétně se jedná o model Freightliner eCascadia nebo společnost Tesla, která momentálně testuje model s názvem Tesla Semi. V následující tabulce jsou uvedeny vybrané dostupné parametry zmíněných vozidel.

Tab. 5-3 Porovnání elektrických nákladních automobilů[16][48][23][83]

Název	Maximální výkon	Kapacita	Dojezd
	(kW)	(kWh)	(km)
Volvo FL Electric	200	200; 300	300
Volvo FE Electric	400	200	200
MAN eTruck	250	-	200
Freightliner eCascadia	545	550	400
Tesla Semi	800	-	483 až 805

Maximální výkon pro Teslu Semi není potvrzen, ovšem podle [2] má mít Tesla Semi čtyři motory, stejné jako jsou použity v Tesla Model 3, což jsou motory o výkonu 200 kW. Maximální výkon je tak určen jako čtyřnásobek této hodnoty.

### 5.3 Hybridní vlaky

Kromě hlavních elektrifikovaných tratí v ČR, je na našem území řada menších regionálních tratí, které nejsou elektrifikovány a ani se jejich elektrifikace nevyplatí. Na těchto tratích tak jezdí vlaky poháněny diesellovými motory. Jako ekologičtější alternativa pro tyto vlaky, která jsou na těchto tratích využívána existují tzv. hybridní vlaky. Hybridní vlaky mají v sobě zabudovaný bateriový systém, který slouží jako zdroj energie pro vlak po jeho odbočení z elektrifikované trati na trať neelektrifikovanou.

Jako příklad takového vlaku může být uveden například Desiro ML Cityjet eco od společnosti Siemens, který je od září roku 2019 používán v Rakousku. Tento vlak má maximální výkon 2 600 kW, kapacita bateriového systému je 528 kWh. Vlak je možné provozovat na elektrifikovaných tratích se střídavým napájecím systémem 15 nebo 25 kV, na těchto tratích je jeho maximální rychlost 140 km/h, na neelektrifikovaných tratích je jeho maximální rychlost 100 km/h.[9]

### 5.4 Elektrobusy

Dalším dopravním prostředkem, pro který jsou v současné době vyvíjeny a vyráběny ekologičtější alternativy, z hlediska vypouštění oxidu uhličitého při jejich provozu, jsou autobusy. Mezi výrobce elektrobusů se řadí například Švédské Volvo nebo Česká Škoda. Parametry elektrobusů závisí na tom, zda se jedná o elektrobusy určené pro dlouhé či krátké linky.

Příkladem elektrobusů pro městskou dopravu v rámci krátké linky může být uveden například elektrobus Škoda PERUN HP. Jedná se o elektrobus vybavený Li-Ion bateriemi, které je možné pomocí rychlonabíjecí infrastruktury ŠKODA (Ultra Fast Charger) nabít během 5-8 minut. Na jedno dobíjení dojezdí autobus kolem 30 km, je tak vhodný pro pravidelnou městskou linu, kde jeho nabíjení probíhá na konečných nebo průběžných zastávkách. [21]

Jako příklad elektrobusu určeného pro dlouhé linky, může být uveden elektrobus Škoda PERUN HE. Tento elektrobus je osazen lithium-polymerovými (Li-Pol) bateriemi, jež je možné nabít během 6-8 hodin, případně lze autobus dobít s výkonnou rychlodobíjecí infrastrukturou za 70 minut. Na plné nabití ujezdí elektrobus v městském provozu s cestujícími 150-200 km. [22]

Speciálním typem elektrobuseů jsou tzv. elektrobusey s oportunitním dobíjením. Jedná se o elektrobusey, které jsou nabíjeny průběžně z dobíjecích stanic napojených na trolejové vedení, běžně využívaného tramvaji nebo trolejbusy. K nabíjecí stanici se tyto elektrobusey připojují pomocí pantografu umístěného na střeše. Nabíjení baterií se v tomto případě pohybuje v rámci minut. Příkladem těchto vozidel jsou vozy Škoda 29 BB, nebo Škoda E'CITY. Dalším příkladem elektrobuseu s oportunitním dobíjením je Volvo 7900 Electric. [76]

Tab. 5-4 Porovnání vybraných elektrobuseů [21] [22][77][101]

Název	Výkon (kW)	Kapacita baterie (kWh)
Škoda PERUN HE	160	222
SOR EBN 9,5	120	172
Škoda PERUN HP	160	78
Volvo 7900 Electric	160	76

## 5.5 Trolejbus s bateriovým systémem

Trolejbus s bateriovým systémem, též někdy nazývaný parciální trolejbus, je trolejbus osazený bateriovým systémem, který slouží k napájení v případech, kdy linka trolejbusu nevede pod trolejovým vedením. Parciální trolejbusy se uplatňují hlavně na periferii měst, kde výstavba infrastruktury nutné pro napájení klasických trolejbusů, je ekonomicky nevýhodná. [76]

Jako příklady těchto trolejbusů mohou být uvedeny například vůz Škoda 32 Tr, který je primárně opatřen bateriovým systémem. Výkon tohoto trolejbusu je 160 kW.[92]

Většina běžných trolejbusů mohou být provozovány běžným způsobem, případně mohou být vybaveny pomocným diesel generátorem nebo trakčními bateriemi. Jako příklady těchto vozů mohou být uvedeny např. trolejbus Škoda 27 Tr s výkonem 240 kW[89], Škoda 30 TR s výkonem 160 kW[90] a Škoda 31 TR s výkonem 250 kW [91].

## 5.6 Elektromotocykly

Dalšími vozidly, pro které existují alternativy ke spalovacím motorům, jsou motocykly. Motocykly poháněné elektrickým motorem mohou být jak cestovní, tak sportovní motocykly nebo i skútry. Výrobci a modelů elektro motocyklů je celá řada, v následující tabulce jsou uvedeny parametry některých z nich. Dojezdy motocyklů uvedené v této tabulce závisí na řadě faktorů jako jsou styl jízdy, okolní podmínky, váha jezdce atd. Dále také závisí, jestli je motorka provozována v městském prostředí nebo se jedná o jízdu na dálnici atd.

Tab. 5-5 Parametry vybraných elektro motocyklů [46][7][107][25][100]

Název	Max výkon (kW)	Kapacita baterie (kWh)	Dojezd (km)
Harley Davidson Live Wire	73	15,5	158
CAKE Kalk INK SL	10	2,6	35 až 85
Se Zero SR	52	14,4	145 až 288
ENERGICA EGO+	107	21,5	180 až 400

Vespa elettrica 45 km/h	4	4,2	100
-------------------------	---	-----	-----

## 5.7 Mikroelektromobilita

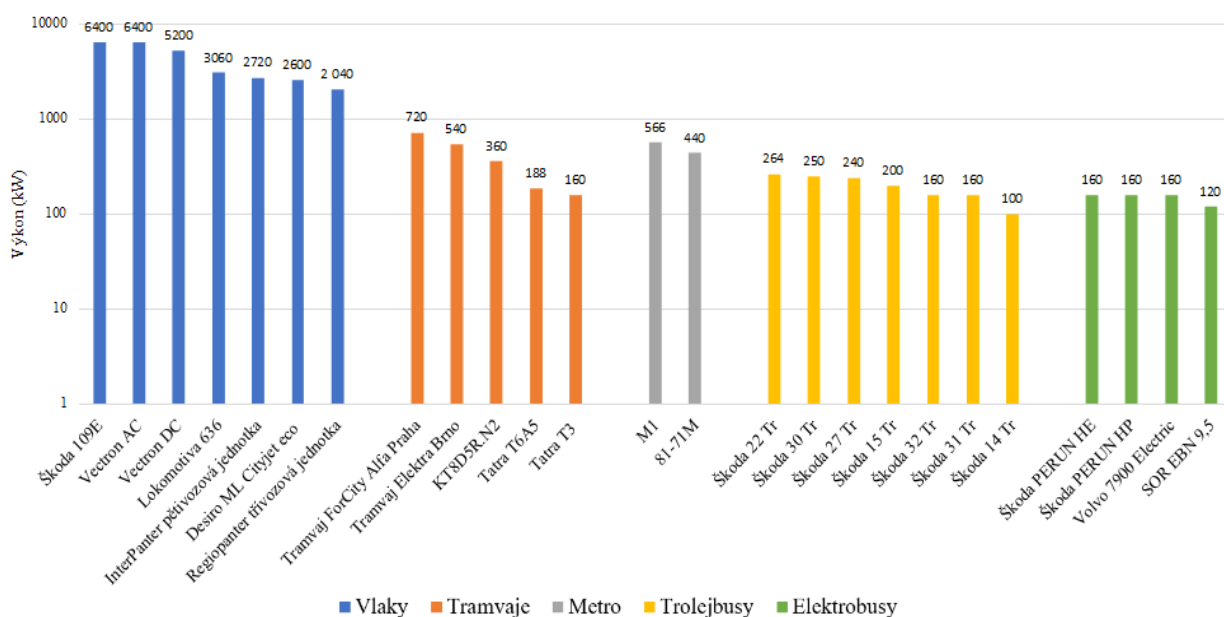
Pod pojmem mikroelektromobilita se rozumí souhrn malých dopravních prostředků poháněných elektromotory, sloužící k dopravě jednotlivců především v městské dopravě. Těmito prostředky mohou být například elektrokola, elektrokoloběžky, různé elektroboardy atd. Tyto prostředky samy o sobě mají zanedbatelný výkon, ovšem pokud poroste jejich počet zvláště ve městech, kde žije velké množství lidí, jejich spotřeba se projeví a nebude zcela zanedbatelná.

Tab. 5-6 Parametry vybraných dopravních prostředků [55][60][35]

Dopravní prostředek	Název	Výkon	Kapacita	Dojezd
Krosově elektrokolo	Crussis e-Cross 1.4.	250 W	486 Wh	100
Elektrická koloběžka	Powero City	500 W	378 Wh	40
Elektroboard	Koowheel D3M Gen 2	2 x 350 W	200 Wh	25

## 5.8 Porovnání výkonů dopravních prostředků

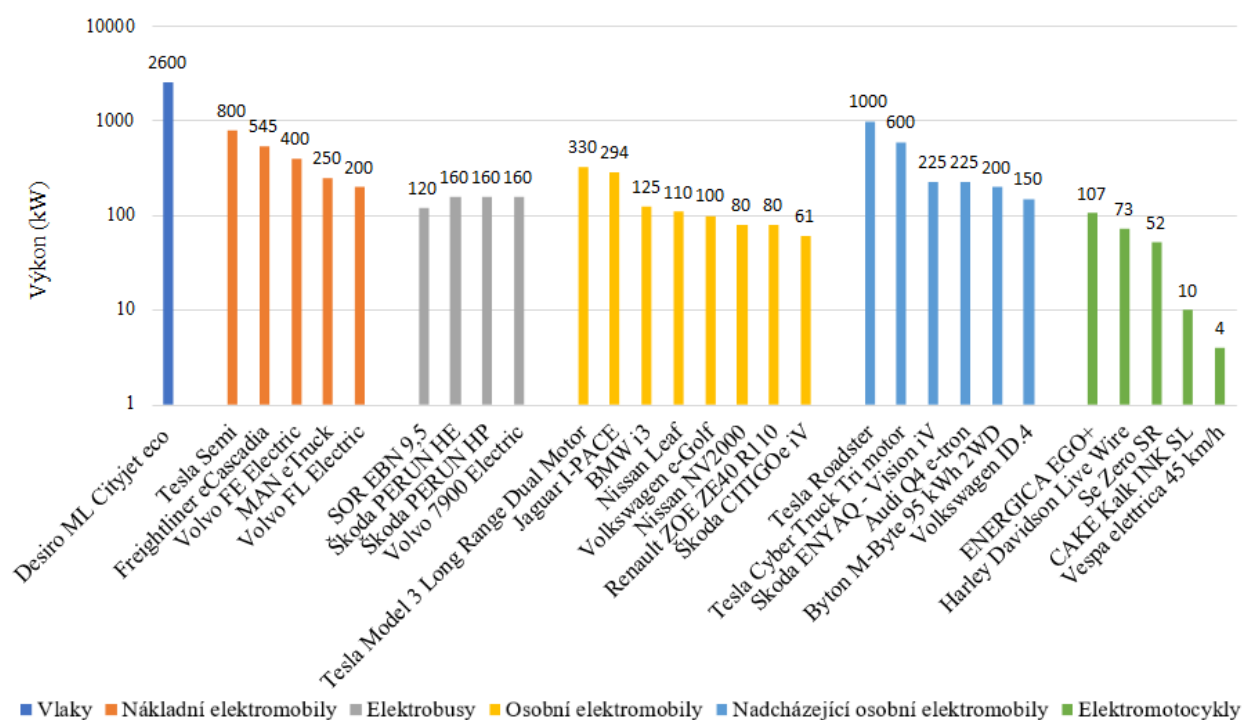
V této kapitole je zobrazeno porovnání dopravních prostředků s elektrickým pohonem. Porovnání vychází z hodnot uvedených v předchozích kapitolách.



Obr. 5-1 Porovnání výkonů elektrických vozidel hromadné dopravy, včetně bateriových dopravních prostředků

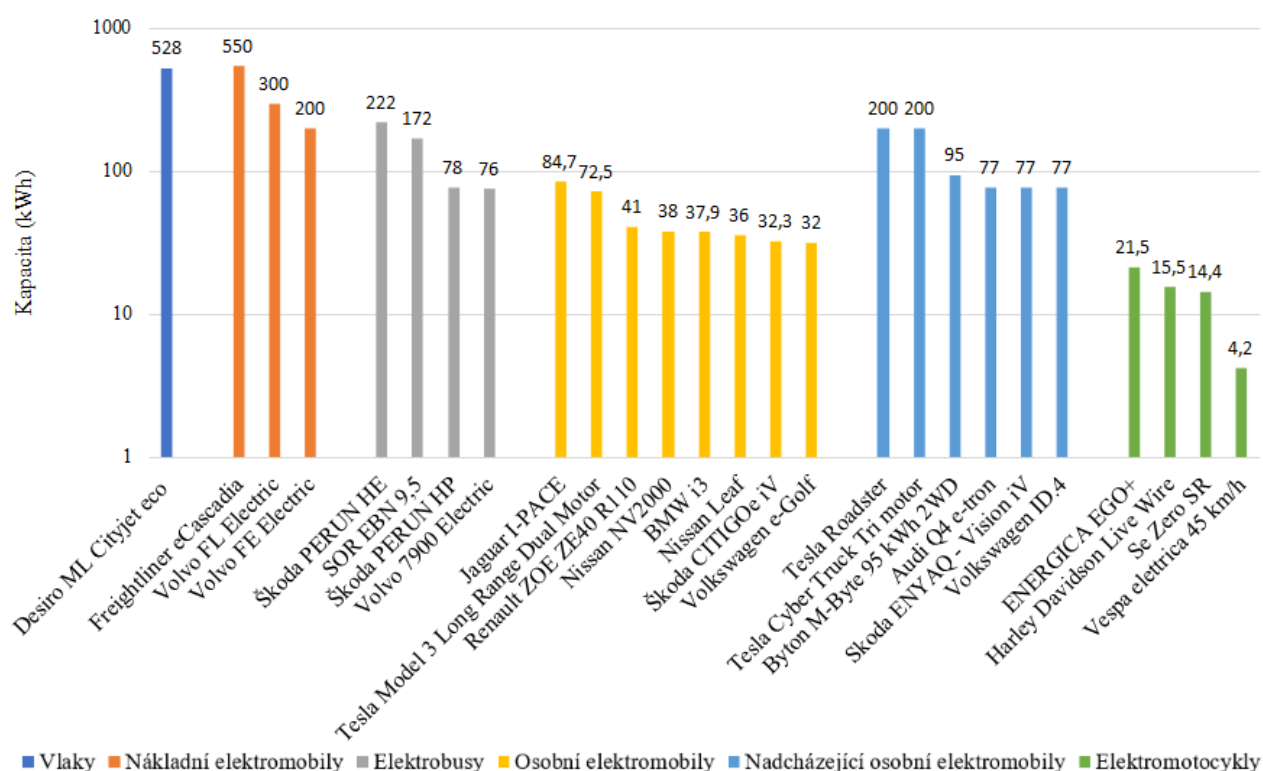
Z uvedených hodnot je patrné, že největší výkony mají vlaková vozidla, jejichž výkony se pohybují v řádu jednotek tisíc kW, od 2000 kW do zhruba 6400 kW [19][97][47][17][18]. Výkony tramvajových vozidel se pohybují v řádu stovek kW, starší typy tramvají jako například Tatra T3 a Tatra T6A5 mají výkony menší 160 kW a 180 kW [102]. Výkony novějších typů tramvají od Plzeňské Škody se pohybují v rámci stovek kW až do 720 kW [85] [86]. Podobný výkon jako tyto tramvaje mají i vozidla metra, typ M1 má výkon 566 kW [74] a typ 81-71 M má výkon 440 kW [51]. Výkony trolejbusů jsou o něco nižší pohybují se v rozmezí 100 až 264 kW [102]. V podobném

rozsahu výkonu, pouze o trochu nižším, se pohybují elektrobusesy, konkrétně je rozsah 120 až 160 kW.



Obr. 5-2 Porovnání výkonů vozidel využívající jako zdroj energie baterie

Z uvedených hodnot je patrné, že výkony nákladních elektromobilů se pohybují ve velkém rozsahu výkonů v rámci stovek kW, od 200 do 800 kW. Výkony osobních elektromobilů se rovněž pohybují ve velkém rozsahu v rámci desítek a stovek kilowat. Výkony elektromotocyklů se pohybují od jednotek kilowat pro městské skútry, po desítky kilowat pro cestovní a sportovní elektromotocykly.



Obr. 5-3 Porovnání kapacit baterií vozidel využívající baterie jako zdroj energie

Kapacita baterií nákladních elektromobilů se pohybuje v rámci stovek kWh, jejich velikost závisí na účelu použití vozidla. Pro nákladní elektromobily určené především do městského prostředí, se kapacity pohybují kolem 200 až 300 kWh. Nákladní elektromobily určené pro přepravu na delší vzdálenosti mají kapacitu baterií kolem 550 kWh. Kapacita baterií elektrobuses rovněž závisí na jejich zamýšleném využití. Elektrobuses určené pro krátké linky mají kapacitu baterií v rámci desítek kWh, elektrobuses určené pro delší linky pak v řádu stovek kWh. Kapacity baterií elektromobilů a jejich rozdělení dle tohoto kritéria byly již uvedeny v úvodu kapitoly 5.1. Kapacity baterií elektromotocyklů se pohybují v rámci jednotek kWh pro motocykly určené do městského prostředí, pro cestovní a sportovní motocykly se pohybuje kapacita v rozsahu 10 až 25 kWh.

## 6 ODHAD SPOTŘEBY

Způsoby odhadu spotřeby, uvedené v této práci, slouží jako pomůcka pro studenty studující elektroenergetiku, která jim poskytne rámcovou představu o množství spotřebované energie vybranou oblastí na základě malého počtu požadovaných vstupních informací. Odhad spotřeby dané oblasti je možný provést několika způsoby, které se mezi sebou liší svojí přesností a množstvím požadovaných vstupů.

### 6.1 Odhad spotřeby vycházející ze spotřeby na obyvatele, první metoda

Prvním, velmi jednoduchým způsobem, je provedení odhadu spotřeby na základě počtu obyvatel v dané obci či městě. Pro tuto metodu odhadu je potřeba znát počet obyvatel žijících v dané oblasti a spotřebu na obyvatele. Počet obyvatel je určen z dat Českého statistického úřadu [59], spotřeba na obyvatele vychází z dat Roční zprávy o provozu ES ČR [67]. V této zprávě je uvedeno množství spotřebované elektrické energie podle jednotlivých kategorií spotřeb. Tyto kategorie jsou čtyři, a to velkoodběr z hladiny velmi vysokého napětí (VO z VVN), velkoodběr z hladiny vysokého napětí (VO z VN), maloodběr podnikatelé (MOP) a maloodběr obyvatelstvo (MOO). První způsob odhadu vychází pouze z množství spotřebované energie spadající do kategorie MOO, tedy pouze energie spotřebované domácnostmi, která za rok 2018 činí 15 049 535,6 MWh [67]. Pro určení spotřeby na jednoho obyvatele je tato hodnota podělena počtem obyvatel ČR (6.1). Hodnota spotřeby na jednoho obyvatele je následně vynásobena počtem obyvatel dané obce (6.2).

$$E_{obyvatel} = \frac{E_{MOO}}{\text{poč. obyv. ČR}} = \frac{15\,049\,535,6 \cdot 10^6}{10\,681\,161} = 1,409 \text{ MWh} \quad (6.1)$$

Odhadovaná spotřeba, například pro obec Moravany:

$$E_{odhad} = E_{obyvatel} \cdot \text{počet obyvatel} = 1,409 \cdot 10^6 \cdot 3070 = 4,09 \text{ GWh} \quad (6.2)$$

Takto je proveden odhad u měst a obcí, u kterých jsou známe reálné hodnoty spotřeby. Tyto hodnoty jsou získány z [68]. Reálné a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 6-1 Odhad spotřeby vycházející ze spotřeby na obyvatele, první metoda

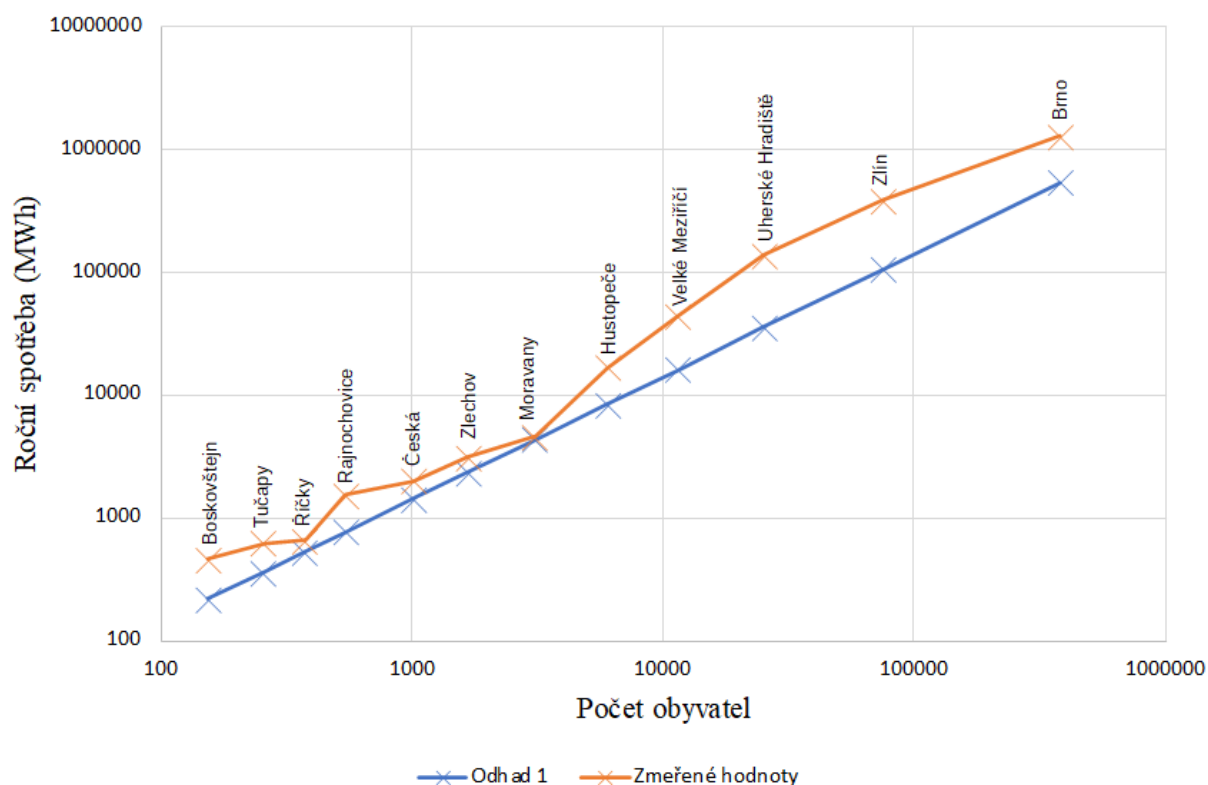
Obec	Počet obyvatel	Změřená roční spotřeba	Odhad spotřeby	Procentní odchylka
(-)	(-)	(GWh)	(GWh)	(%)
Boskovštejn	153	0,455	0,216	52,52
Tučapy	255	0,619	0,359	42,00
Říčky	372	0,648	0,527	18,67
Rajnochovice	541	1,517	0,762	51,83
Česká	1008	1,985	1,42	28,45
Zlechov	1 663	3,084	2,343	24,02
Moravany	3 070	4,608	4,326	6,12

Hustopeče	5 964	16,77	8,40	49,91
Velké Meziříčí	11 484	43,86	16,18	63,11
Uherské Hradiště	25 212	136,81	35,52	74,03
Zlín	74 997	380,41	105,67	72,22
Brno	380 681	1 278,27	536,38	58,04

Procentní odchylka od reálné hodnoty, například pro obec Moravany:

$$\text{Odchylka} = \frac{E_{\text{real}} - E_{\text{odhad}}}{E_{\text{real}}} \cdot 100 = \frac{4,608 \cdot 10^9 - 4,326 \cdot 10^9}{4,608 \cdot 10^9} \cdot 100 = 6,12 \% \quad (6.3)$$

Nepřesnost této metody plyne z nezahrnutí spotřeby průmyslu, tj. odběru z hladiny VN a VVN. U malých obcí, kde většinou není velké množství průmyslových objektů, tudíž zde není velké množství odběratelů z VN či VVN, se toto zanedbání projevuje v menší míře než u velkých měst, kde vlivem většího počtu odběrů z vyšších hladin napětí dochází k velké odchylce od reálné hodnoty.



Obr. 6-1 Porovnání odhadu první metodou s reálnými hodnotami



## 6.2 Odhad spotřeby vycházející ze spotřeby na obyvatele, druhá metoda

Zpřesnění odhadů je dosaženo rozdělením obcí a měst na dvě skupiny, a to obce s malým počtem obyvatel a města s velkým počtem obyvatel. Hranice rozdělující měřené obce je stanovena odhadem na 10 000 obyvatel. Výpočet je pro obě skupiny principiálně stejný jako u první metody. Jediný rozdíl spočívá v množství spotřebované energie, ze které se při určení spotřeby na obyvatele vychází.

Odhad pro první skupinu obcí vychází ze spotřeby spadající do kategorie MOO a MOP. U druhé skupiny obcí se vychází z celkové spotřeby energie, tzn. jsou zahrnuty všechny kategorie spotřeby, což má za cíl korigovat nepřesnost odhadu pro velká města. Přepočet spotřeby na jednoho obyvatele je pak principiálně stejný jako v (6.1). Výsledný odhad je opět získán vynásobením spotřeb na obyvatele, počtem obyvatel dané obce (6.5), (6.7). Porovnání reálných hodnot a hodnot vypočtených druhou metodou jsou uvedeny v tabulce níže.

Pro obce do 10 000 obyvatel platí:

$$E_{obyvatel} = \frac{E_{MOO} + E_{MOP}}{\text{poč. obyv. ČR}} = \frac{15\,049\,535,6 \cdot 10^6 + 8\,063\,973,8 \cdot 10^6}{10\,681\,161} = 2,164 \text{ MWh} \quad (6.4)$$

Odhadovaná spotřeba, například pro obec Moravany, pak činí:

Pro obce nad 10 000 obyvatel platí:

$$E_{odhad} = E_{obyvatel} \cdot \text{počet obyvatel} = 2,164 \cdot 10^6 \cdot 3\,070 = 6,643 \text{ GWh} \quad (6.5)$$

$$E_{obyvatel} = \frac{E_{celková}}{\text{poč. obyv. ČR}} = \frac{55\,637\,976 \cdot 10^6}{10\,681\,161} = 5,209 \text{ MWh} \quad (6.6)$$

Odhadovaná spotřeba, například pro město Zlín, pak činí:

$$E_{odhad} = E_{obyvatel} \cdot \text{počet obyvatel} = 5,209 \cdot 10^6 \cdot 74\,997 = 390,66 \text{ GWh} \quad (6.7)$$

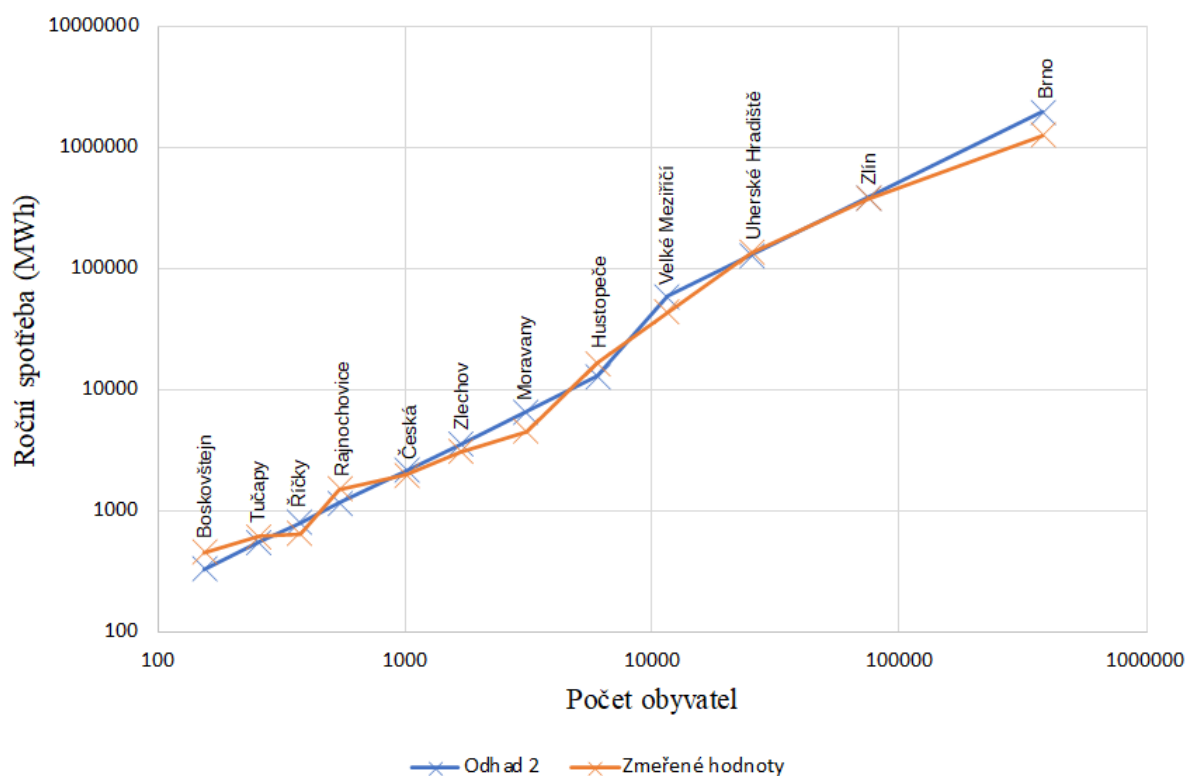
Tab. 6-2 Odhad spotřeby vycházející ze spotřeby na obyvatele, druhá metoda

Obec	Počet obyvatel	Změřená roční spotřeba	Odhad spotřeby	Procentní odchylka
(-)	(-)	(GWh)	(GWh)	(%)
Boskovštejn	153	0,455	0,331	27,3
Tučapy	255	0,619	0,552	10,85
Říčky	372	0,648	0,805	-24,2
Rajnochovice	541	1,517	1,170	22,83
Česká	1008	1,985	2,181	-9,89
Zlechov	1 663	3,084	3,599	-16,69
Moravany	3 070	4,608	6,643	-44,16

Hustopeče	5 964	16,77	12,91	23,04
Velké Meziříčí	11 484	43,86	59,82	-36,39
Uherské Hradiště	25 212	136,81	130,22	4,01
Zlín	74 997	380,41	390,66	-2,69
Brno	380 681	1278,27	1 982,97	-55,13

Z hodnot procentní odchylky od reálných hodnot je patrné, že odhad je stále relativně nepřesný, ovšem právě u měst s větším počtem obyvatel dochází k jeho výraznému zpřesnění, v průměru o 42,22 %. U města Brna je zpřesnění velmi malé, což je způsobeno hlavně vlivem podílu průmyslu na spotřebě. Uvažujeme-li podíl průmyslu na spotřebě uvedený v [68] je patrné že pro města s velkým podílem průmyslu jako právě Zlín (70,15 %), či Uherské Hradiště (71,96 %) je metoda vycházející ze všech kategorií spotřeb přesná. Brno má na rozdíl od těchto měst podíl průmyslu menší (54,38 %), proto zahrnutím všech kategorií spotřeb vede k výrazně větší odhadované hodnotě spotřeby, než odpovídá reálné hodnotě. Podobný vliv podílu spotřeby průmyslu se vyskytuje i u odhadu pro Velké Meziříčí, ovšem odchylka není tak velká, protože podíl průmyslu Velkého Meziříčí je větší než v Brně. Pokud bychom korigovali tyto dva odhady s ohledem na podíl průmyslu a uvažovali pouze kategorie spotřeb MOO a VO z VN došlo by k snížení procentní odchylky na -10,44 % pro Brno a 3,43 % pro Velké Meziříčí.

U menších obcí se zařazením odběru spadajícího do kategorie MOP odhad zlepšil u všech obcí kromě dvou, kde se naopak odchylka od reálné hodnoty zvýšila. V průměru však došlo k zpřesnění odhadů o 11,82 %.



Obr. 6-2 Porovnání odhadu druhou metodou s reálnými hodnotami

### 6.3 Odhad spotřeby na základě použitých komponent

Pro následující odhady jsou použity data o parametrech transformátorů ve vybraných obcích, která byla poskytnuta společností E.ON Distribuce a.s. Reálné hodnoty spotřeby, které jsou uváděny v [68], byly rovněž určeny na základě dat od společnosti E.ON Distribuce a.s. Podle analýzy hodnot reálné spotřeby z [68] vyplývá, že při určování spotřeby byla dostupná pouze data z transformátorů ve vlastnictví společnosti E.ON Distribuce a.s. Hodnota spotřeby, která je brána jako reálná tak zcela neodpovídá skutečné reálné spotřebě, právě proto že nejsou brána v úvahu data z transformátorů v soukromém vlastnictví. Tato informace vyšla najevo bohužel až v průběhu práce. Aby bylo možné posoudit přesnost dále uvedených metod, jsou pro účely odhadu uvažovány pouze transformátory ve vlastnictví společnosti E.ON Distribuce a.s. Takto odhadnuté hodnoty tak zcela nevypovídají o skutečné spotřebě, ovšem je možné jejich srovnání s hodnotami z [68] pro určení přesnosti metody.

#### 6.3.1 Odhad spotřeby vycházející z počtu transformátorů

Principem této metody je určení spotřeby z celkového jmenovitého výkonu transformátorů napájejících danou obec. Pokud nejsou tyto výkony známy je možné vyjít z předpokládaného výkonu transformátorů. Podle [87] jmenovité výkony transformátorů běžně používaných v DS jsou 50, 100, 160, 250, 400, 630 kVA. Celkový předpokládaný výkon transformátorů je určen jako součin počtu transformátorů v obci a zvoleného jmenovitého výkonu, tzn. je uvažováno, že všechny transformátory mají stejný výkon, což samozřejmě neodpovídá realitě, ovšem pro odhad je to postačující. Hodnoty uvažovaných jmenovitých výkonů jsou stanoveny na základě, průměru známých výkonů transformátorů napájejících obce. Pro obce do 1000 obyvatel je průměrný jmenovitý výkon transformátorů 184,81 kVA, tudíž pro tyto obce je při odhadu uvažován jmenovitý výkon jednotlivých transformátorů 160 kVA. Pro obce nad 1000 obyvatel vychází průměrný jmenovitý výkon transformátorů 405,38 kVA, tzn. pro odhad je zvolen jmenovitý výkon 400 kVA. Pro větší města, nejsou dostupná data jak o počtu transformátorů, tak o jejich jmenovitých výkonech. Podle [65], kde je uvedena statistika nejčastějších výkonů transformátorů v městských oblastech, je možné předpokládat, že pro města bude odhad nejpřesnější bude-li uvažován jmenovitý výkon transformátorů 630 kVA.

Pro výpočet spotřeby je zapotřebí převést odhadnutý zdánlivý výkon  $S$  na výkon činný, (6.9). Podle [36] je možné uvažovat účinník odběru MOO a MOP 0,98 (pokud není změřena jiná hodnota). Takto spočtený výkon představuje maximální možnou hodnotu dodávaného činného výkonu. Hodnota maximálního činného výkonu je následně vynásobena počtem hodin v časovém období, pro které chceme znát hodnotu spotřeby, (6.10). Tím je převeden maximální výkon na maximální možnou hodnotu spotřeby ve Wh.

Při odhadu musí být bráno v potaz, že vlivem nutnosti zahušťování sítě (zkracování vývodů) a zvyšování spolehlivosti dodávky, se pro napájení oblastí používá více transformátorů, pracujících pouze na část svého nominálního výkonu. Výkon dodávaný transformátory je zároveň během roku proměnný, vlivem menších či větších zatížení v různých ročních obdobích. Dále také musí být transformátory dimenzovány tak, aby mohly dodávat potřebnou energii v různých provozních situacích jako například při výpadku jednoho transformátorů musí mít zbylé transformátory dostatečný výkon na to, aby mohli převzít jeho zátěž. Z uvedených důvodů byl stanoven koeficient, jímž se násobí maximální možná hodnota dodané energie, (6.11). Tento koeficient je označen písmenem  $\beta$  a jeho hodnota byla empiricky stanovena na 0,12. Koeficient v podstatě vyjadřuje poměr mezi maximální možnou dodávanou energií a reálnou hodnotou. Jeho hodnota byla

stanovena na základě porovnání reálné hodnoty spotřeby a maximální možné spotřeby u obcí, kde jsou dostupná data pro tento výpočet, v průměru je tento poměr roven 12,02 %. Dále hodnota koeficientu může být podpořena na základě výsledků ze statistiky zatížení transformátorů v síti během roku uvedeného v [78], který byl vytvořen na základě měření na 71 distribučních transformátorech. Zatížení měřených transformátorů se pohybuje mezi 10 % až 16 %, v průměru je zatížení transformátorů přibližně 12 %.

Příklad výpočtu je proveden pro obec Česká, která má 1 008 obyvatel, tzn. spadá do kategorie nad 1 000 obyvatel, proto uvažovaný jmenovitý výkon transformátorů je 400 kVA. Počet transformátorů je 5.

Celkový odhadovaný zdánlivý výkon transformátorů napájejících obec:

Celkový činný výkon:

$$S_{celkem} = 5 \cdot 400 \cdot 10^3 = 2000 \text{ kVA} \quad (6.8)$$

$$P_{celkem} = S_{celkem} \cdot \cos\varphi = 2000 \cdot 10^3 \cdot 0,98 = 1,96 \text{ MW} \quad (6.9)$$

Maximální možná roční spotřeba:

Pro určení spotřeby za rok, hodnotu  $E_{max}$  vynásobíme koeficientem  $\beta$ :

$$E_{max} = P_{celkem} \cdot 8760 = 1,96 \cdot 10^6 \cdot 8760 = 17,17 \text{ GWh} \quad (6.10)$$

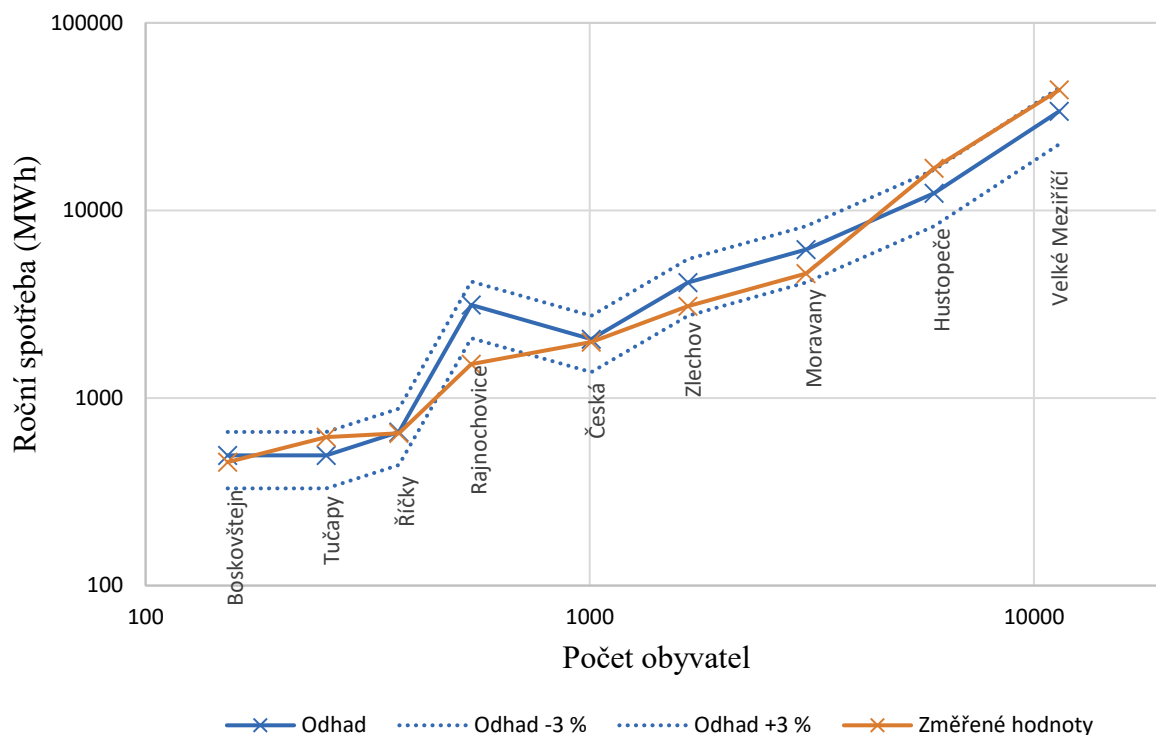
$$E_{odhad} = E_{max} \cdot 0,12 = 17,17 \cdot 10^9 \cdot 0,12 = 2,06 \text{ GWh} \quad (6.11)$$

Odhad touto metodou byl proveden i pro další obce, u kterých byly dostupné informace o počtu transformátorů. Hodnoty odhadu a procentní odchylky od reálné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6-3 Odhad spotřeby vycházející z počtu transformátorů

Obec	Počet obyvatel	Počet transformátorů	Změřená roční spotřeba	Odhad spotřeby	Procentní odchylka
(-)	(-)	(-)	(GWh)	(GWh)	(%)
Boskovštejn	153	3	0,455	0,495	-8,68
Tučapy	255	2	0,619	0,330	46,74
Říčky	372	4	0,648	0,659	-1,75
Rajnochovice	541	19	1,517	3,132	-106,44
Česká	1008	5	1,985	2,060	-3,80
Zlechov	1 663	10	3,084	4,121	-33,62
Moravany	3 070	15	4,608	6,181	-34,13
Hustopeče	5 964	30	16,77	12,36	26,26
Velké Meziříčí	11 484	82	43,86	33,79	22,95

Reálné zatížení transformátorů se většinou liší od uvažované hodnoty 12 %. Protože je odchylka z části způsobena rozptylem reálných hodnot zatížení od uvažované, je možné pro odhad uvažovat zatížení 12 % s určitým rozptylem. Tento rozptyl byl empiricky stanoven na  $\pm 4$  %. V následujícím grafu jsou zobrazeny reálné hodnoty a hodnoty odhadu s uvažovaným rozptylem.



Obr. 6-3 Porovnání reálné hodnoty s hodnotami odhadu

### 6.3.2 Odhad spotřeby vycházející z celkového výkonu transformátorů

Tato metoda je principiálně stejná jako předchozí, pouze s tím rozdílem, že jmenovité výkony transformátorů jsou v tomto případě známy. Celkový jmenovitý výkon transformátorů napájejících danou obec je tak určen jako součet jejich jmenovitých výkonů. Při odhadu je opět uvažován koeficient  $\beta = 0,12$ .

Příklad výpočtu je uveden opět pro obec Zlechov, která je napájena z 10 transformátorů o celkovém jmenovitém výkonu 3 400 kVA.

Celkový zdánlivý výkon transformátorů napájející obci:

Celkový činný výkon:

$$S_{celkem} = 1 \cdot 630 \cdot 10^3 + 6 \cdot 400 \cdot 10^3 + 2 \cdot 160 \cdot 10^3 + 1 \cdot 50 \cdot 10^3 = 3\,400 \text{ kVA} \quad (6.12)$$

$$P_{celkem} = S_{celkem} \cdot \cos\varphi = 3400 \cdot 10^3 \cdot 0,98 = 3,332 \text{ MW} \quad (6.13)$$

Maximální možná roční spotřeba:

Pro určení spotřeby za rok, hodnotu  $E_{max}$  vynásobíme koeficientem  $\beta$ :

$$E_{max} = P_{celkem} \cdot 8760 = 3,332 \cdot 10^6 \cdot 8760 = 29,19 \text{ GWh} \quad (6.14)$$

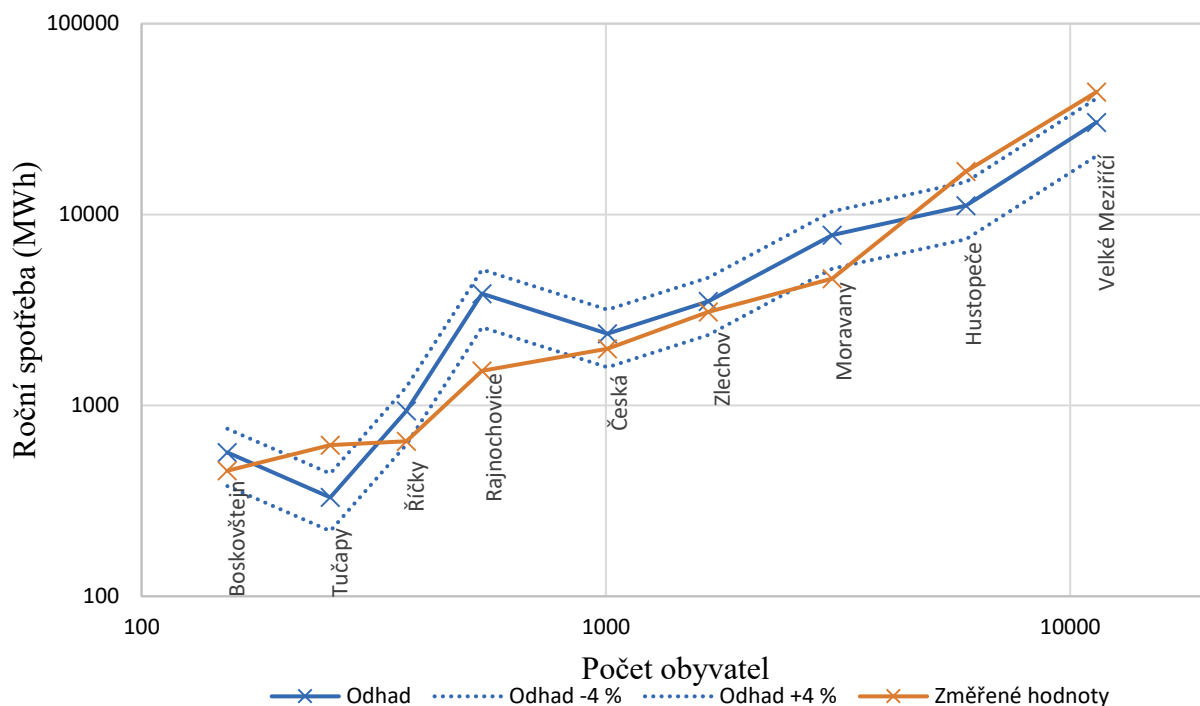
$$E_{odhad} = E_{max} \cdot 0,12 = 29,19 \cdot 10^9 \cdot 0,12 = 3,503 \text{ GWh} \quad (6.15)$$

Takto byl proveden odhad i pro další obce a města u kterých byly dostupné informace o počtu a jmenovitém výkonu transformátorů. Vypočtené hodnoty a odchylky jsou uvedeny v následující tabulce.

*Tab. 6-4 Odhad spotřeby vycházející z výkonu transformátorů*

Obec	Počet transformátorů	Celkový výkon transformátorů	Změřená roční spotřeba	Odhad spotřeby	Procentní odchylka
(-)	(-)	(kVA)	(GWh)	(GWh)	(%)
Boskovštejn	3	550	0,455	0,567	-24,53
Tučapy	3	395	0,619	0,330	46,74
Říčky	4	910	0,648	0,938	-44,67
Rajnochovice	19	3 740	1,517	3,853	-153,98
Česká	5	2 310	1,985	2,380	-19,88
Zlechov	10	3 400	3,084	3,503	-13,57
Moravany	15	7 570	4,608	7,798	-69,24
Hustopeče	30	10 800	16,77	11,13	33,64
Velké Meziříčí	82	29 540	43,86	30,43	30,61

Odhad je v tomto případě zatížen chybou vlivem neznámého zatížení transformátorů. Jako v předchozím případě je možné odhad korigovat bude-li uvažováno zatížení  $12 \pm 4$  % jako tomu bylo u předchozí metody. V následujícím grafu jsou zobrazeny reálné hodnoty a hodnoty odhadu s uvažovaným rozptylem  $\pm 4$  %.



Obr. 6-4 Porovnání reálných hodnot s hodnotami odhadu

### 6.3.3 Odhad spotřeby vycházející z druhu napájecích vodičů

Další komponent, který může být uvažován pro odhad spotřeby jsou vodiče. Je-li znám typ vodiče, a jeho průřez, který napájí danou obec, je možné určit dovolený zatěžovací proud vodičem. Proud je možné pomocí napětí převést na výkon a následně z výkonu spočítat energii (spotřebu).

Vodiče stejně jako transformátory jsou dimenzovány na přenášení větších výkonů než během běžného provozu, a to z několika důvodů. Mezi tyto se například řadí naddimenzování vodiče tak aby byl schopný vydržet různé provozní stavy, dále vzhledem k tomu, že životnost venkovního vedení, je 40 let a kabelového 50 let [36], je nutné uvažovat při dimenzování vodičů s budoucím rozvojem napájené oblasti. Pokud tedy vyjdeme z dovoleného zatěžovacího proudu budeme znát maximální přenesitelný výkon, respektive maximální možnou spotřebu, oblasti napájené vodičem.

V odhadu tímto způsobem hraje roli i uspořádání sítě, pokud totiž uvažovaný vodič napájí více obcí bude velmi naddimenzován a hodnoty odhadu, pro jednu obec, v těchto případech budou zavádějící, proto je tato metoda v těchto případech nevhodná. Pokud je však obec, pro kterou chceme provést odhad napájena samostatně odbočkou z kmenového vedení je možné tímto způsobem určit maximální možnou spotřebu obce. Obce takto napájené jsou většinou malé obce, či osady.

Obce splňující tyto kritéria, u nichž známe reálnou hodnotu spotřeby jsou dvě, a to Boskovštejn a Říčky. Obě obce jsou napájeny venkovním vedením, vodičem AlFe 42/7, jehož dovolený proud je 181 A. Výpočet maximální spotřeby je tak pro obě obce stejný:

Výpočet maximálního zdánlivého výkonu, přenositelného vodičem.

Přepočet na činný výkon.

$$S_{max} = \sqrt{3} \cdot U_S \cdot I_d = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 181 = 6,9 \text{ MVA} \quad (6.16)$$

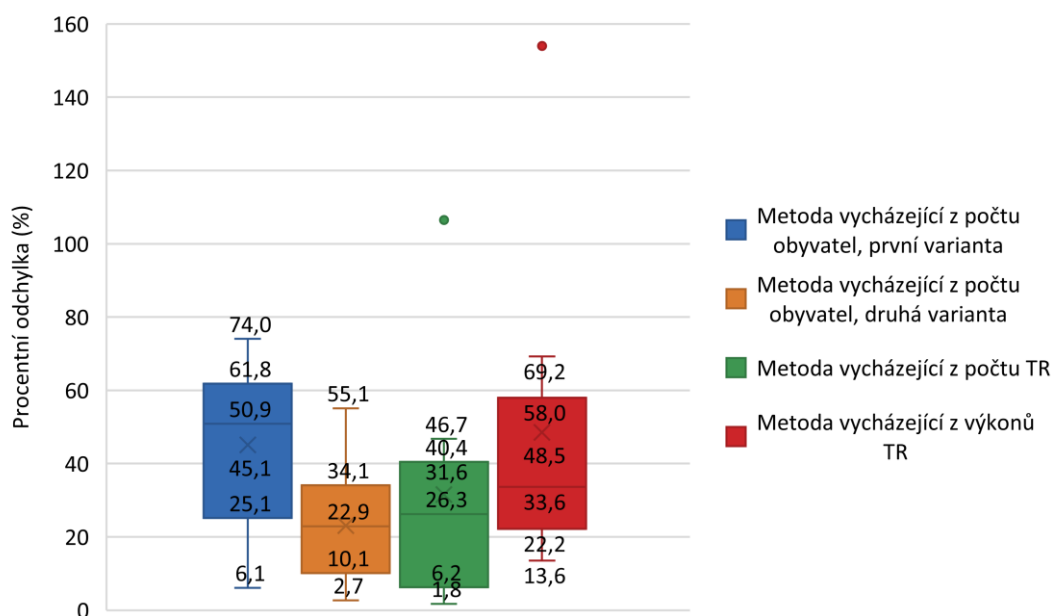
$$P_{max} = S_{max} \cdot \cos\varphi = 6,9 \cdot 10^6 \cdot 0,98 = 6,76 \text{ MVA} \quad (6.17)$$

Určení maximální roční spotřeby z maximálního činného výkonu.

$$E_{max} = P_{max} \cdot 8760 = 6,76 \cdot 10^6 \cdot 8760 = 59,22 \text{ GWh} \quad (6.18)$$

## 6.4 Porovnání metod odhadu

V této kapitole je uvedeno porovnání metod odhadu z hlediska procentní odchylky od reálné hodnoty spotřeby. Vzhledem k tomu, že metodu odhadu vycházející z druhu napájecích vodičů je možné provést jen pro dvě obce není v této kapitole uvedena, její zhodnocení je provedeno až v závěru práce. K zobrazení odchylek je použit krabicový graf zobrazující průměrnou hodnotu, medián a horní a dolní kvartil. Z grafu je patrné, že pro první variantu metody vycházející z počtu obyvatel se většina hodnot odchylek pohybuje v rozmezí 25,1 až 61,8 %. Druhá varianta této metody vychází z tohoto hlediska lépe, většina jejich odchylek se pohybuje v rozmezí 10,1 až 34,1 %. Pro metodu vycházející z počtu transformátorů se většina hodnot odchylek pohybuje v rozmezí 6,2 až 40,4 %. U metody vycházející z výkonu transformátorů je rozmezí 22,2 až 58 %. Zobrazené odlehlé body u posledních dvou metod jsou odchylky pro obec Rajnochovice, kde se nachází neobvykle velký počet transformátorů pro obec o relativně malém počtu obyvatel. To může být způsobeno velkou rozlohou katastrálního území obce, dále také může hrát roli že se v obci nachází skiareály. Hodnota odchylky u této obce, pro metodu vycházející z počtu transformátorů činí -106,4 %, pro metody vycházející z výkonů činí odchylka -153,8 %.

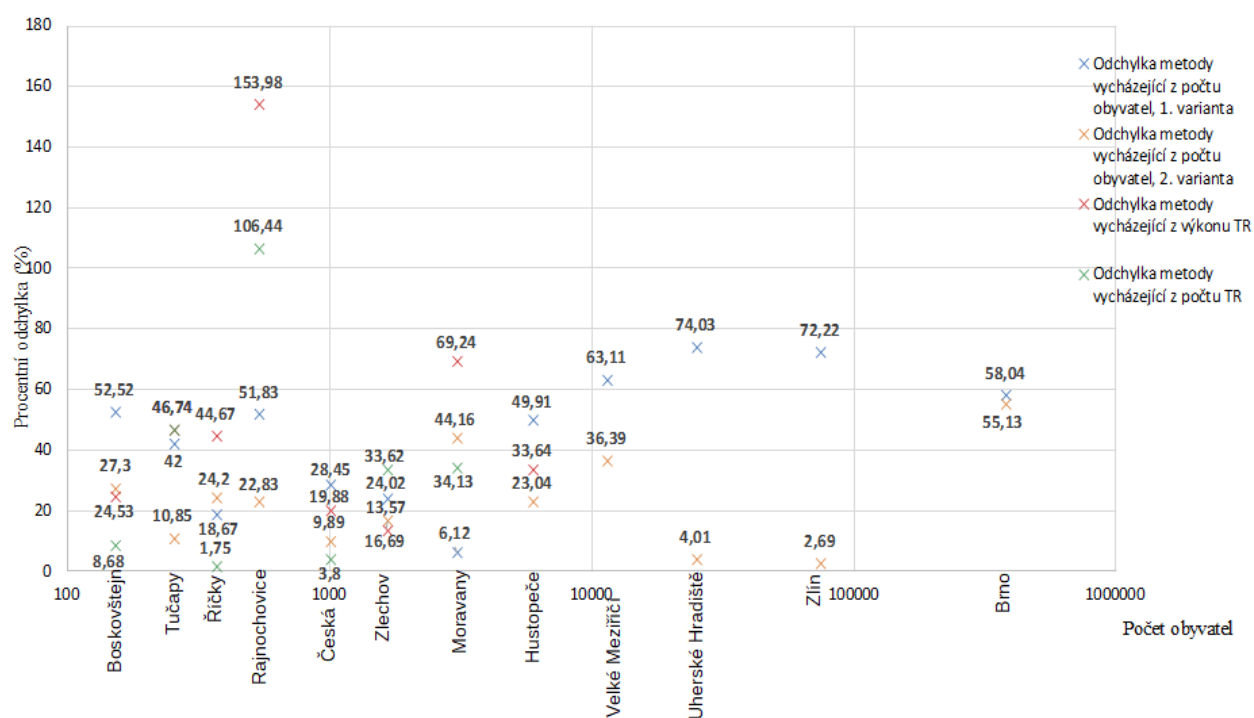


Obr. 6-5 Rozptyl hodnot odchylek odhadů



Tab. 6-5 Porovnání metod odhadu

	První metoda	Druhá metoda	Metoda vycházející z počtu TR	Metoda vycházející z výkonu TR
	(%)	(%)	(%)	(%)
Průměrná odchylka	45,1	23,1	31,6	48,5
Medián odchylek	50,9	22,9	26,3	33,6
Největší odchylka	74,0	-2,7	-106,4	-153,8
Nejmenší odchylka	6,1	-55,1	-1,8	-13,6



Obr. 6-6 Grafické zobrazení odchylek pro všechny metody odhadu

Jak již bylo na začátku kapitoly 6.3 zmíněno, podle analýzy hodnot reálné spotřeby z [68] vyplývá, že při určování spotřeby byla dostupná pouze data z transformátorů ve vlastnictví společnosti E.ON Distribuce a.s., proto byly pro odhad rovněž uvažovány pouze transformátory ve vlastnictví společnosti E.ON Distribuce a.s. Pro úplnost jsou v následující tabulce uvedeny hodnoty odhadů, které vycházejí při uvážení všech transformátorů, jak ve vlastnictví společnosti E.ON Distribuce a.s. tak v soukromém vlastnictví, při použití obou metod vycházejících z transformátorů. Z uvedených hodnot je patrné, že ve většině případů vychází větší hodnota spotřeby, než je uváděná roční spotřeba v [68], což podporuje domněnku o nedostupnosti dat z transformátorů v soukromém vlastnictví, pro určení reálné spotřeby. Pro menší obce jsou rozdíly odhadu a hodnot uváděných v [68] menší, neboť je zde menší podíl průmyslu, tudíž menší počet transformátorů v soukromém vlastnictví. U větších obcí a měst, se vzhledem k většímu množství průmyslu projevuje větší rozdíl odhadovaných hodnot a hodnot z [68].

*Tab. 6-6 Odhady pomocí metod vycházejících z TR při uvažování TR v soukromém vlastnictví a TR ve vlastnictví společnosti E.ON*

Obec	Změřená roční spotřeba	Odhad spotřeby (z počtu TR)	Odhad spotřeby (z výkonu TR)
(-)	(GWh)	(GWh)	(GWh)
Boskovštejn	0,455	0,494	0,567
Tučapy	0,619	0,494	0,407
Říčky	0,648	0,659	0,938
Rajnochovice	1,517	4,826	6,068
Česká	1,985	2,472	3,029
Zlechov	3,084	4,533	3,667
Moravany	4,608	11,13	14,44
Hustopeče	16,77	27,61	40,28
Velké Meziříčí	43,86	67,17	67,55

## 7 INFOGRAFIKY

Jak již bylo zmíněno v úvodu hlavním cílem práce je poskytnutí pomůcky pro studenty studující elektroenergetiku, která jím umožní zjednodušený a ucelený pohled na elektrizační soustavu. K tomu účelu byly vytvořeny dvě infografiky, které jsou přílohou této práce. V této kapitole jsou infografiky podrobněji popsány.

Myšlenkou první infografiky je zobrazit elektrizační soustavu tak aby byly patrné běžné způsoby uspořádání sítí na jednotlivých napěťových hladinách v rámci PS i DS, stejně tak naznačit i způsoby uzemnění těchto sítí. Dále jsou v infografice zobrazeny, některé výrobní zdroje pracující do PS i do DS. Pro tyto zdroje jsou uvedeny hodnoty jejich instalovaného výkonu, je naznačen způsob vyvedení jejich výkonu do ES, včetně výkonů a napětí blokových transformátorů. V infografice jsou naznačeny běžně používané vodiče na hladinách VN a NN, včetně jejich průřezů. Podrobněji jsou tyto informace uvedeny v přehledové infografice. Dále jsou zobrazeny také transformátory používané v ES včetně jejich napětí a výkonů. Infografika také zobrazuje elektrickou trakci z hlediska způsobu jejího napojení do PS, v případě železnic, a napojení do DS v případě městských drah. Jsou zde uvedeny běžné hodnoty napětí pro tyto soustavy stejně tak jsou zde i běžné parametry transformátorů používaných pro napájení trakci. Infografika také zobrazuje běžné rozsahy výkonů vozidel pohybujících se v těchto soustavách. V případě železnic jsou pouze zobrazeny systémy AC 25 kV/50 Hz a DC 3kV, neboť se jedná o systémy, které pokrývají valnou většinu elektrifikovaných tratí v ČR. V infografice je dále zobrazeno mnoho dalších věcí např. mohou být uvedeny: parametry kompenzačních tlumivek v PS, parametry rotačních kompenzátorů, parametry bateriového úložiště SIESTORAGE Mydlovary, parametry běžných nabíječek pro elektromobily, předpokládaná roční spotřeba rodinných, bytových a panelových domů a mnoho dalšího.

Druhá infografika slouží jako přehled uvádějící podrobněji běžné parametry komponent pracujících v ES. ES je zde pouze naznačena jedním vedením, které přechází od zdroje až k spotřebě přes všechny části ES. Pro vedení na jednotlivých napěťových hladinách jsou zde uvedeny informace např. o uspořádání sítě, spojení uzlů transformátorů, používaných vodičích a podpěrných bodech pro venkovní vedení, životnost některých komponent, podíl typů vedení a mnoho dalšího. Pro transformaci na všech úrovních soustavy jsou zde uvedeny používané hodnoty výkonů, počty odboček včetně stupňů, po kterých regulují a životnost transformátorů. Dále jsou zde uvedeny informace o spotřebě a výrobě elektrické energie v ČR.

Obě infografiky byly oponovány pracovníky distribučních společností. Konkrétně se jednalo o pracovníky oddělení Dispečerského řízení sítí E.ON Distribuce, a.s.[39], pracovníky oddělení Rozvoje sítí E.ON Distribuce, a.s.[35][36], pracovníky odboru Inovace ČEZ Distribuce, a. s.[37], pracovníky odboru Provozní příprava chodu DS ČEZ Distribuce, a. s.[38] a v neposlední řadě pracovníky oddělení Koncepce a plánování PREdistribuce, a. s.[40].

## 8 ZÁVĚR

V první části práce bylo poukázáno na strukturální rozdělení elektrizační soustavy a na její parametry, z hlediska délky vedení množství přenesené energie a počtu rozvodů. Dále bylo rozebráno obecné dělení sítí, a to z hlediska způsobu uzemnění a jejich uspořádání. Kromě samotné elektrizační soustavy byla zmíněna i elektrická trakce a způsoby jejího napájení. Poté byly uvedeny informace o množství vyrobené energie a její spotřebě na území České republiky. Z hlediska spotřeby elektrické energie bylo provedeno porovnání České republiky s ostatními státy.

V druhé části práce byly zmíněny vybrané komponenty a byly uvedeny jejich hlavní parametry. Prvním zmíněným komponentem bylo vedení. V práci byly zmíněny používané vodiče pro vedení venkovní i kabelová zemní vedení. U některých z nich byly uvedeny jejich hlavní parametry. Kromě samotného vedení byly uvedeny i používané podpěrné body pro venkovní vedení a také byly nastíněny technologie používané pro vytvoření optické infrastruktury. Druhým komponentem, který byl v práci probrán, byli transformátory. Byli zde uvedeny způsoby zapojení vinutí transformátorů, způsoby regulace napětí a výkonové řady běžně používaných transformátorů. U některých transformátorů byly uvedeny i další elektrické parametry. Třetím zmíněným komponentem soustavy byly generátory, byly uvedeny druhy používaných generátorů pro konkrétní technologie výroby elektrické energie včetně parametrů vybraných generátorů. Posledním probraným prvkem byly výkonové vypínače, konkrétně vypínače používající jako zhašecí médium SF<sub>6</sub>, CO<sub>2</sub>, a vakuové vypínače. Pro tyto vypínače byli rovněž uvedeny parametry některých z nich. Práce dále okrajově zmiňuje problematiku elektromobility a bateriových úložišť jako oblasti, které budou mít v budoucnu vliv na rozvoj ES.

Dále byly v práci nastíněny možnosti použití bateriových systémů, a to jako síťového prvku, či možnost využití domácích bateriových systémů. Byly zde uvedeny parametry vybraných provozovaných úložišť jak ve světě, tak v ČR, stejně tak byly uvedeny parametry některých plánovaných úložišť ve světě.

Práce také poskytuje v předposlední kapitole náhled na elektromobilitu, a to z pohledu rozsahu výkonů a kapacit baterií vozidel pro osobní či hromadnou dopravu. Konkrétně jsou zde uvedeny parametry vlakových vozidel, osobních a nákladních vozidel, elektrobusů, trolejbusů, elektromotocyklů a vozidel pro mikroelektromobilitu. Vozidla jsou v závěru této kapitoly mezi sebou porovnávána, jsou uvedeny rozsahy výkonů a kapacit pro jednotlivé typy vozidel.

Práce představuje pět různých jednoduchých metod odhadu spotřeby, jejichž účelem je sloužit jako pomůcka pro studenty studující energetiku, která jim poskytne rámcovou představu o množství spotřebované energie vybranou oblastí. První uvedená metoda vychází z počtu obyvatel většina odchylek této metody se pohybuje v rozmezí 25,1 až 61,8 %, medián je 50,9 %. Odchyly jsou způsobeny především vlivem zanedbání odběrů z vyšších napěťových hladin. Zanedbání má největší vliv na odchylku zvláště u velkých měst (na 10 000 obyvatel), kde bývá větší množství průmyslu. Z uvedených hodnot odchylek je patrné, že metoda je pro odhad nevhodná, zvláště pak pro větší města.

Druhá metoda uvedená v práci také vychází z počtu obyvatel, rozdílem oproti předchozí metodě jsou pouze uvažované kategorie spotřeb. Tato metoda dosahuje větší přesnosti než metoda první, odchylka se nejčastěji pohybuje mezi 10,1 až 34,1 %, medián je 22,9 %. Zvláště u velkých měst dochází k zpřesnění odhadů, což je způsobeno zohledněním všech kategorií spotřeb. K zpřesnění dochází u velkých měst, s výjimkou města Brna, u kterého dochází pouze k mírnému zlepšení. To je způsobeno vlivem menšího podílu průmyslu na spotřebě než

u zbývajících měst. Odhad je možné korigovat, pokud je znám tento podíl, což pokud není známa skutečná hodnota spotřeby je obtížně zjistitelné. Metoda je tak vhodná pro použití pro obce, respektive města do 10 000 obyvatel. Při použití odhadu ve větších městech sice není možné vyloučit větší odchylku, ovšem pro účely odhadu je přesnost metody i zde dostačující. Výhodou této metody oproti metodám vycházejícím z komponent je fakt, že požadované vstupní informace jsou jednoduše dohledatelné.

Třetí metoda, uvedená v práci, vychází z počtu transformátorů napájející danou oblast. Vzhledem k tomu že větší města jsou napájena z velkého množství transformátorů nebylo možné pro ně získat podklady potřebné k provedení odhadu. Touto metodou jsou tak pouze provedeny odhady pro 9 obcí. Odchylka se nejčastěji pohybuje v rozmezí 6,2 až 40,4 %, medián je 26,3 %. Nepřesnost v tomto případě plyne z neznámého zatížení transformátorů, uvažované zatížení je pouze předpoklad vycházející ze statistiky, od kterého se reálné hodnoty odchylky více či méně liší. Na odchylku má také vliv rozdíl reálného celkového jmenovitého výkonu transformátorů od předpokládaného.

Čtvrtá metoda odhadu vychází z celkového jmenovitého výkonu transformátorů napájejících danou obec. Ze stejného důvodu jako u předchozí metody nebylo možné odhad provést pro všechny města. Odchylka se nejčastěji pohybuje v rozmezí 22,2 až 58 %, medián je 33,6 %. Odchylka je v tomto případě způsobena pouze rozdílem reálného zatížení transformátorů od předpokládaného. Nevýhodou této metody oproti předchozím je menší dostupnost potřebných informací nutných pro její provedení, zvláště pak u větších měst.

Poslední metoda odhadu vychází z parametrů vodičů napájejících danou obec, či město. V případě této metody se nejedná o určení roční spotřeby, ale spíše o určení maximálního množství energie, které může být spotřebováno obcí. Myšlenkou metody bylo určit spotřebu z jmenovitého proudu vodiče, který obec napájí. Tato myšlenka se, ale v průběhu práce ukázala jako nevhodná. Prvním problémem je, že metodu je možné použít pouze pro obce, které jsou napájeny samostatně z odbočky z kmenového vedení. Druhým, větším problémem je, že jsou pro použití vodičů definovány distributory nejmenší používané průřezy daných typů vodičů. Tento fakt tak činí odhad prakticky nemožný, protože vodič není dimenzován pouze z hlediska zatížení, ale i z mnoha dalších hledisek jako jsou např. mechanická pevnost, odolnost vůči tepelným a dynamickým účinkům zkratového proudu, dále musí být vodič schopný pracovat v různých provozních stavech atd. Tím je jeho průřez a tím i jeho jmenovitý proud, de facto větší, než by byl potřeba pouze na přenesení potřebného proudu pro běžné napájení dané obce, což zkresluje odhad do takové míry, že je v podstatě nepoužitelný.

Z odchylek všech metod, uvedených v kapitole 6.4, lze tvrdit, že metoda vycházející z počtu obyvatel (její druhá varianta) a metoda vycházející z počtu transformátorů jsou přesnější než metoda vycházející z výkonů transformátorů, i přesto že tato metoda pracuje s nejmenším počtem předpokladů. Protože přesnost druhé varianty metody vycházející z počtu obyvatel, pro města nad 10 000 obyvatel, závisí na podílu spotřeby průmyslu, který u těchto měst může být velmi proměnlivý, je pravděpodobné že s větším počtem provedených odhadů, zvláště pro velká města, by došlo k zhoršení průměrné odchylky. Protože přesnost odhadu vycházejícího z počtu transformátorů nezávisí pouze na jejich reálném zatížení, stejně jako tomu je u metody vycházející z výkonu transformátorů, ale i na rozdílu celkového uvažovaného výkonu od reálného, je pravděpodobné, že při provedení více odhadů by došlo k zvýšení průměrné odchylky této metody, zvláště pokud by byly zahrnuty obce, které se nachází těsně u pomezí počtu obyvatel, dělicí obce na skupiny, s jinými uvažovanými jmenovitými výkony. Na základě zmíněných úvah je tedy

možné tvrdit, že při provedení většího počtu odhadů a následném porovnání výsledků s reálnými hodnotami, by pravděpodobně vyšla metoda vycházející z jmenovitých výkonů nejpřesněji, právě z toho důvodu, že předpokládá nejméně proměnných. Ovšem pro potvrzení této úvahy by muselo být provedeno více odhadů s následným srovnáním s reálnými hodnotami.

Do zhodnocení metod z hlediska jejich přesnosti bohužel během práce vstoupilo několik skutečností, které vyšly najevo až při vypracovávání práce. Nejdříve jak již bylo na začátku kapitoly 6.3 zmíněno, podle analýzy hodnot reálné spotřeby z [68] vyplývá, že při určování spotřeby byla dostupná pouze data z transformátorů ve vlastnictví společnosti E.ON Distribuce a.s., tzn. aby bylo možné vůbec hodnoty odhadu srovnávat s hodnotami spotřeby z [68] byly při odhadech vycházejících z transformátorů uvažovány opět pouze transformátory ve vlastnictví společnosti E.ON Distribuce a.s. Dále vzhledem k tomu, že nebylo prováděno měření přímo na transformátorech je pravděpodobné, že jsou data reálné spotřeby zatížena chybou. Další chybu zanáší do reálné hodnoty z [68], fakt že v některých případech bylo možné měřit jen proud a tento následně přepočítat na výkon. Tyto chyby je nemožné určit, protože nejsou k dispozici data, se kterými by bylo možné provést srovnání. Vzhledem k těmto skutečnostem jsou hodnoty odchylky vypovídající o přesnosti metod zatíženy chybou. Ovšem je možné tvrdit, že hodnoty odchylek jsou menší než, které vychází, zvláště pak v případě metody vycházející z výkonu transformátorů, neboť se jedná o metodu, která ze všech metod předpokládá nejméně proměnných a teoreticky by tak měla vycházet nejpřesněji. Pro potvrzení tohoto tvrzení by však bylo nutné provést srovnání odhadů s reálnými hodnotami, které jsou zatíženy minimální chybou.

Jak již bylo zmíněno v úvodu hlavním cílem práce bylo poskytnutí pomůcky pro studenty studující elektroenergetiku, která jím umožní zjednodušený a ucelený pohled na elektrizační soustavu. K tomuto účelu byly vytvořeny dvě infografiky popisující ES, které jsou přílohou této práce. Infografiky vychází z větší části z informací, které byly uvedeny v rámci textové části této práce. Aby bylo možné práci v budoucnu jednoduše aktualizovat, či do ní doplnit některé informace, byla práce vytvořena za pomoci volně dostupných programů. Jednotlivé prvky používané v infografice byly vytvořeny v programu Inkscape. Pro propojení prvků a kompletování infografik bylo použito programu LibreOffice (Kresba), do kterého byly prvky vkládány ve formátu PNG. Podrobnější popis infografik je uveden v kapitole 7.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] 6TH CEER Benchmarking report on the quality of electricity and gas supply. In: *Council of European Energy Regulators* [online]. Brusel: CEER, 2016 [cit. 2019-11-17]. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/d064733a-9614-e320-a068-2086ed27be7f>
- [2] A closer look at a Tesla Semi electric truck prototype and its electric motors. *Electrek* [online]. electrek, 2018 [cit. 2020-04-13]. <https://electrek.co/2018/03/15/tesla-semi-electric-truck-prototype-electric-motors/>
- [3] Bateriové úložiště Solar Global. *Solar Global* [online]. Praha: Solar Global, 2020 [cit. 2020-04-23]. <https://www.solarglobal.cz/bateriove-uloziste.htm>
- [4] BENEŠ, Petr a Martin GELDOŇ. Kabelová vedení VVN. In: 22. *Konference ČK Cired*. ČK CIRED, 2018, s. 9.
- [5] BERMANN, Jiří. Transformátorová koncepce ČR+SR - Stále aktuální a potřebná. In: 18. *Konference ČK Cired*. ČK CIRED, 2014, s. 13.
- [6] BLAŽEK, Vladimír a Petr SKALA. *Distribuce elektrické energie*. Brno: FEKT VUT.
- [7] Cake's Kalk& - Street legal. *Cake* [online]. Stockholm: cake, 2020 [cit. 2020-04-13]. <https://ridecake.com/kalkand/>
- [8] ČEZ zahájil provoz 4 MW baterie v rámci společného pilotního projektu s ČEPS. *Skupina ČEZ* [online]. Praha: ČEZ, 2019 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/cez-zahajil-provoz-4mw-baterie-v-ramci-spolecneho-pilotniho-projektu-s-ceps-69165>
- [9] Cityjet Eco. In: *ÖBB* [online]. Wien: ÖBB, 2019 [cit. 2020-04-12]. <https://www.oebb.at/dam/jcr:b697320b-4493-48f2-a9f4-b8ff3af4d4ec/datenblatt-cityjet-eco.pdf>
- [10] Distribuční sítě nízkého napětí. In: *ENERGETIKA info* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, ©1997-2019 [cit. 2019-10-19]. <https://www.energetikainfo.cz/33/distribucni-site-nizkeho-napeti-02-typy-siti-nn>
- [11] DOLEČEK, Radovan a Ondřej ČERNÝ. *Trakční napájecí soustavy: studijní opora*. Univerzita Pardubice, 2015. ISBN 978-80-7395-879-4.
- [12] Dosahovaná úroveň kvality distribuce elektřiny, ČEZ Distribuce. In: *ČEZdistribuce* [online]. Praha: ČEZ Distribuce, 2018 [cit. 2019-10-16]. <https://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/uroven-kvality-distribuce-elektriny.html>
- [13] Druhy elektrického silnoproudého rozvodu. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, ©2001-2019 [cit. 2019-10-19]. <https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4035-druhy-elektrického-silnoproudeho-rozvodu>
- [14] *Electric Vehicle Database* [online]. 2020 [cit. 2020-04-13]. <https://ev-database.org>
- [15] Electricity Statistics. *IEA* [online]. Paříž: IEA, 2019 [cit. 2019-11-17]. <https://www.iea.org/statistics/electricity/>
- [16] Electromobility made easy. In: *Volvo Trucks* [online]. Göteborg: Volvo Trucks Corporation, 2020 [cit. 2020-04-12]. [https://www.volvotrucks.com/content/dam/volvo/volvo-2952/global/alternative-fuels/electric-trucks/Volvo\\_Trucks\\_Product\\_Guide\\_Electromobility\\_en-EN.pdf](https://www.volvotrucks.com/content/dam/volvo/volvo-2952/global/alternative-fuels/electric-trucks/Volvo_Trucks_Product_Guide_Electromobility_en-EN.pdf)

- [17] Elektrická jednotka Interpanter. *Škoda* [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-05-24]. <https://www.skoda.cz/reference/elektricka-jednotka-interpanter/?from=prod>
- [18] Elektrická jednotka Regioplanter. *Škoda* [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-05-24]. <https://www.skoda.cz/reference/regioplanter/?from=prod>
- [19] Elektrické lokomotivy: Rychlíkové lokomotivy. *Škoda* [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-05-29]. <https://www.skoda.cz/produkty/lokomotivy/rychlikove-lokomotivy/>
- [20] Elektrifikace českých železničních tratí. In: *OEnergetice* [online]. Praha: oEnergetice, 2015 [cit. 2020-01-04]. <https://oenergetice.cz/technologie/elektrifikace-ceskych-zeleznic/>
- [21] Elektrobuses s rychlodobíjením. *Škoda* [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-04-12]. <https://www.skoda.cz/reference/elektrobuses-s-rychlodobijenim/?from=prod>
- [22] Elektrobuses se standardním dobíjením. *Škoda* [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-04-12]. <https://www.skoda.cz/reference/elektrobuses-se-standardnim-dobijenim/?from=prod>
- [23] E-Mobility. *Freightliner* [online]. North America: Daimler Trucks, 2020 [cit. 2020-04-13]. <https://freightliner.com/e-mobility/>
- [24] Energetický zdroj C-Energy Planá uvádí do provozu největší bateriové úložiště v ČR dodané firmou Siemens. In: *C-energy* [online]. Planá nad Lužnicí: C-Energy Planá, 2019 [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: [https://www.c-energy.cz/upload/Aktuality/TZ\\_Bateriove\\_uloziste\\_C\\_Energy\\_Plana.pdf](https://www.c-energy.cz/upload/Aktuality/TZ_Bateriove_uloziste_C_Energy_Plana.pdf)
- [25] ENERGICA EGO / EGO+. *ENERGICA* [online]. Modena (Italy): ENERGICA, 2020 [cit. 2020-04-13]. <https://www.energicamotor.com/energica-ego-electric-motorcycle/>
- [26] Fiberglass power poles. *Strongwell* [online]. Bristol, Virginia: Strongwell, 2020 [cit. 2020-02-15]. <https://www.strongwell.com/products/power-poles>
- [27] FILIP, Robin. *Bateriové systémy pro distribuční sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně.
- [28] GLOVER, J. D, M. S. SARMA a T. J. OVERBYE. *Power System Analysis & Design, SI Version* [online]. 5. vydání. Cengage Learning, 2012, 161 - 164 [cit. 2019-12-30]. ISBN 9781111425791. <https://books.google.cz/books?id=HrtXTToLEbVoC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>
- [29] HD4 - Gas insulated MV circuit-breakers. In: *ABB* [online]. ABB, 2018 [cit. 2019-12-20]. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VCP000004%202015.09&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [30] High-Voltage Circuit Breakers. In: *SIEMENS* [online]. Erlangen: Siemens, 2012 [cit. 2019-12-21]. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:57363d51dd291bd91128dd7665ae64e808f2fdf2/version:0/high-voltage-circuit-breakers-portfolio-en.pdf>
- [31] JE Dukovany - hlavní technické údaje. *ČEZ* [online]. Praha: ČEZ, 2019 [cit. 2019-12-01]. <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/edu/technologie-a-zabezpeceni#p2>



- [32] JE Temelín - hlavní technické údaje. ČEZ [online]. Praha: ČEZ, 2019 [cit. 2019-12-01]. <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/ete/technologie-a-zabezpečení-1>
- [33] KLOUBEC, Roman a Petr LEHKÝ. Instalace optických kabelů na venkovní vedení VN. In: 22. *Konference ČK Cired*. ČK CIRED, 2018, s. 9.
- [34] Kodex přenosové soustavy, část I. 2018. In: ČEPS, a.s. [online]. Praha: ČEPS, 2018 [cit. 2019-10-16]. <https://www.ceps.cz/cs/kodex-ps>
- [35] Konzultace ohledně sítě 0,4 kV společnosti E.ON Distribuce, a.s. s Ing. Kolaciou. Brno, 2020
- [36] Konzultace ohledně sítě 22 kV společnosti E.ON Distribuce, a.s. s Ing. Kolaciou. Brno, 2020
- [37] Konzultace s odborem Inovace ČEZ Distribuce, a. s., 1.6. 2020
- [38] Konzultace s odborem Provozní příprava chodu DS ČEZ Distribuce, a. s., 9.6. 2020
- [39] Konzultace s pracovníky oddělení Dispečerského řízení sítě E.ON Distribuce, a.s., 2020, dne 5.6. 2020
- [40] Konzultace s pracovníky oddělení Koncepce a plánování PREdistribuce, a. s., 2020, 9.6. 2020
- [41] Koowheel D3M Gen 2 Electric Skateboard. *Koowheelskateboard* [online]. Koowheel Electric Skateboard, 2020 [cit. 2020-04-17]. <https://koowheelskateboard.com/products/koowheel-electric-skateboard-for-sale>
- [42] KRÁTKÝ, Milan a Petr MODLITBA. Dopad přechodu napájení trakce na jednotný systém AC 25 kV na distribuční soustavu. In: 22. *Konference ČK Cired*. ČK CIRED, 2018, s. 9.
- [43] KŘEPELA, Pavel. *Projektování podpěrných bodů venkovního vedení VN*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [44] LG Home Battery: Product Info. *LG Chem: ESS Battery Division* [online]. LG Chem, 2020 [cit. 2020-05-14]. <https://www.lgessbattery.com/eu/home-battery/product-info.lg>
- [45] Live Tank Breaker AirPlus™. In: ABB [online]. ABB, 2019 [cit. 2019-12-21]. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107492A8346&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [46] LiveWire. *Harley Davidson* [online]. USA: Harley Davidson, 2020 [cit. 2020-04-13]. <https://www.harley-davidson.com/cz/cs/motorcycles/livewire.html>
- [47] Lokomotiva 363. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-24]. [https://cs.wikipedia.org/wiki/Lokomotiva\\_363](https://cs.wikipedia.org/wiki/Lokomotiva_363)
- [48] MAN eTruck. *MAN Truck* [online]. Germany: MAN, 2020 [cit. 2020-04-12]. [https://www.truck.man.eu/de/en/man-etruck.html#the\\_new\\_man\\_etruck](https://www.truck.man.eu/de/en/man-etruck.html#the_new_man_etruck)
- [49] MATOUŠEK, Antonín. *Výroba elektrické energie*. Brno: VUT FEKT, 2007, 139 s. : il. ISBN 978-80-214-3317-5.
- [50] Mercedes-Benz Energy Storage Home. In: *Mercedes-Benz Energy: Energy storage systems* [online]. Sunnyvale: Mercedes-Benz Energy Americas [cit. 2020-05-14]. <https://www.mercedes-benz.com/content/dam/brandhub/mercedes-benz->

- [energy/service/downloads/energy-storage-home-1st-generation/sales-folder/Mercedes-Benz-Energy-Storage-Home.pdf](#)
- [51] Modernizované metro 81-71M. Škoda [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-05-10]. <https://www.skoda.cz/reference/modernizovane-metro-81-71m/?from=prod>
- [52] Mydlovary - SIESTORAGE. SIEMENS [online]. Praha: Siemens Česká republika, 2019 [cit. 2020-04-23]. <https://new.siemens.com/cz/cs/products/energy/medium-voltage/solutions/siestorage/mydlovary.html>
- [53] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno: FEKT VUT, 2015.
- [54] Pan-European cost-efficiency benchmark for electricity transmission system operators. In: *Council of European Energy Regulators* [online]. Brusel: CEER, 2019 [cit. 2019-12-31]. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/559c7df0-9cf3-2153-07bd-855bdf9a6a13>
- [55] Pánské krosové elektrokolo e-Cross 1.4. *Crussis* [online]. Praha: CRUSSIS electrobikes, 2020 [cit. 2020-04-17]. <https://www.crussis.cz/produkt/testovaci-kolo-panske-krosove-elektrokolo-e-cross-1-4/16190868>
- [56] *Parametry vedení a kabelů* [online]. Vysoká škola báňská - technická univerzita Ostrava: Katedra elektroenergetiky [cit. 2019-10-27]. [http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/katalogy/parametry\\_vedeni\\_a\\_kabelu.xls](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/katalogy/parametry_vedeni_a_kabelu.xls)
- [57] *Parametry vedení a transformátorů* [online]. Vysoká škola báňská - technická univerzita Ostrava: Katedra elektroenergetiky [cit. 2019-10-27]. [http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/katalogy/parametry.doc](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/katalogy/parametry.doc)
- [58] PISAŘČÍK, Tomáš. Vypínače a GIS VVN "SF6 free." In: *21. Konference ČK Cired*. ČK CIREN, 2017, s. 25.
- [59] Počet obyvatel v obcích - k 1.1.2019. In: *Český statistický úřad* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2019 [cit. 2020-03-06]. <https://www.czso.cz/documents/10180/91917344/13007219.pdf>
- [60] *Powero City* [online]. Bratislava: Voltride, 2020 [cit. 2020-04-17]. <https://www.powero.cz/#technicka-specifikace>
- [61] Powerwall. *TESLA* [online]. California: Tesla, 2020 [cit. 2020-04-18]. <https://www.tesla.com/powerwall>
- [62] PRCHLÍK, Michal. Vypínače VVN se zhašecím plynem CO<sub>2</sub>. In: *18. Konference ČK Cired*. ČK CIREN, 2014, s. 8.
- [63] Přecherčavací vodní elektrárna Dlouhé Stráně v Jeseníkách. *Elektrotechnický magazín* [online]. Praha: ČEZ a.s, 2006 [cit. 2019-05-21]. <http://www.etm.cz/index.php/novinky/782-precerpavaci-vodni-elektarna-dlouhe-strane-v-jesenikach-1cast>
- [64] Predikce vývoje elektromobility v ČR. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2018 [cit. 2020-06-08]. [https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2019/10/Studie-NAP-SG-A25\\_Elektromobilita.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2019/10/Studie-NAP-SG-A25_Elektromobilita.pdf)
- [65] PRETTICO, Giuseppe, Flavia GANGALE, Anna MENGOLINI, Alexandre LUCAS a Gianluca FULLI. *Distribution system operators observatory from European electricity distribution systems to reference network*. Luxembourg: Publications Office, 2016. DOI:

- 10.2790/701791. ISBN 9789279584169. ISSN 1831-9424.  
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC101680/Idna27927enn.pdf>
- [66] Product portfolio. Enercon [online]. Berlin: Enercon, 2019 [cit. 2019-05-21].  
[https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/MedienPortal/broschueren/pdf/en/EC\\_Datenblaetter\\_WEA\\_en\\_042019.pdf](https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/MedienPortal/broschueren/pdf/en/EC_Datenblaetter_WEA_en_042019.pdf)
- [67] Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2018. In: *Energetický regulační úřad* [online]. Praha: ERÚ, 2019 [cit. 2019-11-17]. <https://www.eru.cz/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>
- [68] ŠÁCHA, T. Grafický popis elektroenergetického systému ve vybraných oblastech. Bakalářská práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2019, s. 46.
- [69] SAX-W® 20 kV. In: *K&V ELEKTRO* [online]. Velké Meziříčí: Draka Kabely, 2015 [cit. 2020-04-05]. [https://www.kvelektro.cz/wp-content/uploads/2015/11/silove\\_kabely\\_a\\_vodice.pdf](https://www.kvelektro.cz/wp-content/uploads/2015/11/silove_kabely_a_vodice.pdf)
- [70] SECKÝ, Filip. ČEZ Distribuce. *Technická politika – rozvoj distribučních sítí a technologických prvků v DSO: Příloha č. 5 – Koncepce venkovních sítí VN* [online]. Oddělení Technická politika, 2006 [cit. 2019-10-18]. <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/priloha-5.doc>
- [71] SECKÝ, Filip. ČEZ Distribuce. *Technická politika – rozvoj distribučních sítí a technologických prvků v DSO: Příloha č. 2 – Koncepce venkovních sítí NN* [online]. Oddělení Technická politika, 2006 [cit. 2019-10-18]. <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/priloha-2.doc>
- [72] SECKÝ, Filip. ČEZ Distribuce. *Technická politika – rozvoj distribučních sítí a technologických prvků v DSO: Příloha č. 1 – Koncepce kabelových sítí NN* [online]. Oddělení Technická politika, 2006 [cit. 2019-10-18]. <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/priloha-1.doc>
- [73] SEIDL, Pavel. Postup realizace optické infrastruktury v ČEZ Distribuce, a. s. In: SEIDL, Pavel. 23. *Konference ČK Cired*. ČK CIRED, 2019, s. 13.
- [74] Siemens M1. Tramvaje.net [online]. Tramvaje.net, 2017 [cit. 2020-05-10]. <http://tramvaje.net/mhd-praha/jednotky-metra/siemens-m1>
- [75] Simens Wind Turbine - SWT- 2.3 - 93. *DirectIndustry* [online]. Erlangen: Simens, ©2009 [cit. 2019-12-01]. <https://pdf.directindustry.com/pdf/siemens-gamesa/swt-23-93/102147-295307-4.html>
- [76] SMÍTKA, Jan. *Možnosti využití elektromobility na vybraných linkách MHD v Chomutově a Jirkově*. Praha, 2019. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [77] SOR EBN 8 / EBN 9,5 / EBN 11. In: *SOR* [online]. Libchavy: SOR Libchavy, 2020 [cit. 2020-04-12]. [https://www.sor.cz/wp-content/uploads/2017/09/EBN\\_8-95-11\\_CZ\\_LoRes.pdf](https://www.sor.cz/wp-content/uploads/2017/09/EBN_8-95-11_CZ_LoRes.pdf)
- [78] SOUČEK, Jan. Statistická analýza dat z měření v DTS. In: 16. *Konference ČK Cired*. ČK CIRED, 2012, s. 10.
- [79] Souhrnná zpráva o dosažené úrovni kvality distribuce elektřiny, E-ON. In: *E-ON Distribuce* [online]. České Budějovice: E.ON Distribuce, 2018 [cit. 2019-10-16].

- <https://www.eon-distribuce.cz/sites/default/files/2019-06/zprava-o-dosazene-urovni-kvality%202018.pdf>
- [80] Souhrná zpráva o dosažené úrovni kvality distribuce elektřiny, PREDistribuce. In: *PREDistribuce* [online]. Praha: PREDistribuce, 2018 [cit. 2019-10-16]. <https://www.predistribuce.cz/Files/legislativa/souhrnna-zprava-standardy-2018/>
- [81] STRÁNSKÝ, David. *Diagnostika výkonových vypínačů* [online]. Plzeň, 2013 [cit. 2019-12-20]. <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/10068/1/DP%20Stransky%20David.pdf>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [82] Technické informace. In: *PREDistribuce* [online]. Praha: PREDistribuce, ©2018 [cit. 2019-10-13]. <https://www.predistribuce.cz/cs/distribucni-sit/technicke-informace/>
- [83] Tesla SEMI. *TESLA* [online]. California: Tesla, 2020 [cit. 2020-04-13]. <https://www.tesla.com/semi>
- [84] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [85] Tramvaj Elektra Brno. Škoda [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-05-10]. <https://www.skoda.cz/reference/tramvaj-elektra-brno/>
- [86] Tramvaj Forcity Alfa Praha. Škoda [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-05-10]. <https://www.skoda.cz/reference/tramvaj-forcity-alfa-praha/>
- [87] Transformační a spínací stanice, vedení nízkého napětí (NN). *E-ON Distribuce* [online]. České Budějovice: E.ON Distribuce, ©2019 [cit. 2019-10-26]. <https://www.eon-distribuce.cz/clanek/prenosova-distribucni-soustava-5-cast>
- [88] TROJAN, Jaroslav a Jiří ULRICH. Zkušenosti s implementací kabelu typu 1-AYKY-J-OT v síti PREDISTRIBUCE, a.s. In: *21. Konference ČK Cired*. ČK CIRED, 2017, s. 6.
- [89] TROLEJBUS 27 TR. Škoda [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-04-12]. <https://www.skoda.cz/reference/trolejbus-27-tr/?from=prod>
- [90] TROLEJBUS 30 TR. Škoda [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-05-01]. <https://www.skoda.cz/reference/trolejbus-30-tr/?from=prod>
- [91] TROLEJBUS 31 TR. Škoda [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-05-01]. <https://www.skoda.cz/reference/trolejbus-31-tr/?from=prod>
- [92] TROLEJBUS 32 TR. Škoda [online]. Plzeň: Škoda Transportation, 2020 [cit. 2020-04-12]. <https://www.skoda.cz/reference/trolejbus-32-tr/?from=prod>
- [93] Tvary a klasické typy vodičů vedení VVN. *OEnergetice* [online]. Praha: oEnergetice, 2015 [cit. 2019-10-27]. <https://oenergetice.cz/elektrina/tvary-a-klasicke-typy-vodicu-vedeni-vvn>
- [94] Údaje o PS. *ČEPS, a.s.* [online]. Praha: ČEPS, 2018 [cit. 2019-10-13]. <https://ceps.cz/cs/udaje-o-ps>
- [95] V roce 2018 přibýlo na českých silnicích téměř 1 000 osobních elektromobilů a plug-in hybridů. Centrum dopravního výzkumu [online]. Ostrava, 9.1.2019 [cit. 2019-05-09]. <https://www.cdv.cz/tisk/v-roce-2018-pribylo-na-ceskych-silnicich-temer-1-000-osobnichelektromobilu-a-plug-in-hybridu/>
- [96] VD4 Medium voltage vacuum circuit breakers. In: *ABB* [online]. ABB, 2018 [cit. 2019-12-21]. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VCP000001%202018&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

- [97] Vector. In: Siemens Global [online]. Munich: Siemens Mobility, 2018 [cit. 2020-05-29]. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:623d14cd-e56b-4a96-84c0-d7d7b7727847/version:1537171466/mo-vectron-technical-brochure-en.pdf>
- [98] Vedení vysokého (VN) a nízkého napětí (NN). *E-ON Distribuce* [online]. České Budějovice: E.ON Distribuce, ©2019 [cit. 2019-10-26]. <https://www.eon-distribuce.cz/clanek/prenosova-distribucni-soustava-4-cast>
- [99] VERNER, Josef. *Elektrické stanice a vedení*. 2. vyd. Brno: VUT, 1989, 157 s. ISBN 80-214-1007-8.
- [100] VESPA ELETTRICA 45 KM/H. *Vespa Piaggio* [online]. Pontedera (Italy): Vespa Piaggio, 2020 [cit. 2020-04-13]. [https://www.vespa.com/cz\\_CS/Vespa-Models/vespa-elettrica/vespa-elettrica.html#](https://www.vespa.com/cz_CS/Vespa-Models/vespa-elettrica/vespa-elettrica.html#)
- [101] Volvo 7900 Electric. In: *Volvo Buses* [online]. Göteborg: Volvo Bus Corporation, 2020 [cit. 2020-04-12]. [https://www.volvobuses.com/content/dam/volvo/volvo-buses/master/bre/our-offering/documents/Brochure\\_7900E\\_EN.pdf](https://www.volvobuses.com/content/dam/volvo/volvo-buses/master/bre/our-offering/documents/Brochure_7900E_EN.pdf)
- [102] Vozidla brněnské městské dopravy. DPMB: Dopravní podnik města Brna [online]. Brno: Dopravní podnik města Brna [cit. 2020-05-31]. <https://www.dpmb.cz/cs/vozidla>
- [103] Vysokoteplotní vodiče vedení VVN. *oEnergetice* [online]. Praha: oEnergetice, 2015 [cit. 2019-12-30]. <https://oenergetice.cz/elektroenergetika/vysokoteplotni-vodice-vedeni-vvn>
- [104] XStorage Home. *EATON* [online]. Eaton, 2020 [cit. 2020-05-14]. <https://www.eaton.com/gb/en-gb/catalog/energy-storage/xstorage-home.html>
- [105] Zajímavá čísla. *ČEPS, a.s.* [online]. Praha: ČEPS, 2018 [cit. 2019-10-16]. <https://www.ceps.cz/cs/zajimava-cisla>
- [106] Základní typy stožárových konstrukcí. In: *ČEPS* [online]. Praha: ČEPS, 2018 [cit. 2019-11-17]. <https://www.ceps.cz/cs/vedeni-ps>
- [107] ZERO SR ZF14.4. *ZERO motorcycles* [online]. California: ZERO motorcycles, 2020 [cit. 2020-04-13]. <http://www.zeromotorcycles.cz/motocykly-detail/72-zero-sr-zf144-2020/>

## ZDROJE DAT

GÁLA, Michal. Data pro řešení bakalářské práce. [elektronická pošta]. 20. dubna 2020 09:36 [cit. 2020-06-07]. Osobní komunikace.